



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

**ŘÍDICÍ SYSTÉM KAMEROVÉHO SCENERU PRO
MONITOROVÁNÍ RŮSTU ROSTLIN**

CONTROL SYSTEM OF THE CAMERA SCANNER FOR MONITORING OF PLANT GROWTH

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ladislav Zapletal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.

BRNO 2017

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Mikroelektronika**

Ústav mikroelektroniky

Student: Bc. Ladislav Zapletal

ID: 154911

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Řídicí systém kamerového sceneru pro monitorování růstu rostlin

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte řídicí systém pro ovládání robotického pojezdu kamerového sceneru, který slouží jako nosný systém různých zobrazujících senzorů. Sensory budou monitorovat jak růst, tak fyziologický stav kultivovaných rostlin v růstových komorách. Systém bude řízen mikroprocesorovou jednotkou umožňující přesné polohování kamerového sceneru, tj. řízení a buzení krokových motorů, snímání koncových snímačů, snímání rotačních enkoderů a komunikaci s nadřazeným systémem. Systém bude řízen přes sběrnici RS485 s požadovaným komunikačním protokolem a bude podporovat i Ethernetovou komunikaci (bude využita pro budoucí aplikace). Celý systém je připojen k nadřazenému systému, který bude vykonávat definované protokoly a dále zpracovávat informace z jednotlivých zobrazujících senzorů (nadřazený systém a Ethernetová komunikace není součástí zadání diplomové práce).

Navrhněte nejvhodnější řešení systému. Realizujte řídicí DPS, robotický pojezd kamerového systému a odzkoušejte funkční vzorek.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 25.5.2017

Vedoucí práce: prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.

Konzultant:

doc. Ing. Lukáš Fucík, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Experimentální část této diplomové práce byla podpořena výzkumnou infrastrukturou
vybudovanou v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072

Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá návrhem a realizací zařízení robotického pojezdu kamerového skeneru rostlin společně s řídicí jednotkou. Navržené zařízení slouží jako nosný systém různých snímacích senzorů. Sensory budou monitorovat, jak růst, tak fyziologický stav kultivovaných rostlin v růstových komorách. V práci je popsán výběr elektronických a mechanických komponent, ze kterých je zařízení vytvořeno. V textu je uveden návrh řídicí desky plošných spojů, která bude zařízení obsluhovat. Součástí práce je ukázka realizace zařízení společně s ilustrací reálné podoby systému a postupem jeho testováním.

Klíčová slova

Řídicí systém, robotický pojezd, řídicí DPS, komunikační periferie, mechanická konstrukce, snímání, budiče motorů.

Abstract

This diploma thesis deals with the design and realization of robotic drive of the camera scanner system of plants together with the control unit. This device serves as the carrier system of various camera sensors. The sensors will monitor both the growth and the physiological status of the cultivated plants in the growth chambers. The thesis describes the choice of electronic and mechanical components from which the device is built. The text describes a design of the PCB that will control the device. Part of the thesis is also a demonstration of the realization of the system together with the illustration of the real form of the system and its testing.

Keywords

Control system, robotic drive, control PCB, communication periphery, mechanical construction, capturing, motor drivers.

ZAPLETAL, L. Řídicí systém kamerového skeneru pro monitorování růstu rostlin.
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních
technologií, 2017. 74 s. Vedoucí semestrální práce prof. Ing. Vladislav Musil, CSc..

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Řídicí systém kamerového skeneru pro monitorování růstu rostlin jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Vladislavu Musilovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval společnosti PSI (Photon Systems Instruments), jmenovitě Ing. Michalu Divišovi, za odborný dohled nad diplomovou prací, cenné rady a vstřícný přístup.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Obsah

Úvod.....	9
1 Rozbor zadání.....	11
2 Popis zařízení.....	12
2.1 Podoba zařízení	12
2.2 Druhy měření na rostlinách.....	13
3 Výběr elektronických komponent.....	16
3.1 Motory.....	16
3.2 Budiče krokových motorů	20
3.3 Snímače polohy a pohybu.....	24
3.4 Řídicí elektronika	26
3.5 Detekce teploty a chlazení.....	32
3.6 Vstupně/výstupní konektory.....	34
4 Návrh mechanické konstrukce	36
4.1 Hliníkové profily	36
4.2 Lineární vedení s vozíky	37
4.3 Ozubený řemen a jeho uchycení.....	38
4.4 Spojovací tyč a momentová spojka	39
4.5 Energetický řetěz.....	40
4.6 Vlastní díly	41
5 Realizace zařízení.....	42
5.1 Realizace řídicí DPS.....	42
5.2 Layout DPS.....	53
5.3 Realizace mechanické konstrukce.....	56
6 Testování zařízení	58
6.1 Testování zařízení externími budiči	58

6.2	Testování zařízení řídicí DPS.....	60
7	Kalkulace ceny	62
8	Možné rozšíření funkcí systému	64
8.1	Rozšíření os zařízení	64
8.2	Komunikace přes další rozhraní	64
	Závěr	65
	Seznam použité literatury.....	67
	Seznam obrázků	71
	Seznam tabulek.....	73
	Seznam příloh	74

Úvod

Předkládaná diplomová práce se zabývá popisem návrhu a realizací robotického pojezdu kamerového skeneru pro monitorování růstu rostlin v růstových komorách a jeho řídicího systému. V práci je uveden výběr vhodných elektronických a mechanických komponent, základní výpočty, popis návrhu zařízení a jeho realizace. Skener bude sledovat rostliny během růstu v definovaných podmínkách a bude řízen nadřazeným systémem, který však nespadá do obsahu této práce. Nadřazeným systémem je myšleno zařízení, které v růstových komorách vytváří podmínky vhodné pro měření, hlídá klimatické změny a reguluje osvětlení. Také je zodpovědné za komunikaci s kamerami a vyčítání naměřených dat. Pomocí tohoto zařízení bude navržený řídicí systém indexován a ovládán daným způsobem komunikace.

Celá práce je členěna do několika částí, které jsou přehledně a tematicky odděleny. V první části práce je obsah věnován rozboru zadání a nastínění problematiky návrhu robotického pojezdu kamerového skeneru. Dále se text zabývá obecným popisem a demonstrací celého konstrukčního mechanického řešení. První kapitola také shrnuje druhy měření, které má zařízení vykonávat.

V následující části práce je text věnován popisu elektronické části zařízení. Zejména se zde pojednává o výběru řídicí elektroniky, která v sobě zahrnuje mikrokontrolér se všemi potřebnými součástmi. Je zde dokumentován výběr vhodného krokového motoru, společně s popisem a výběrem vhodného budiče tohoto krokového motoru. Dále je zde výčet používaných komunikačních periférií a dalších významných součástí návrhu zařízení.

Text se dále věnuje popisu mechanické konstrukce nosného systému kamer. Na několika obrázcích je vždy s popisem vysvětlena funkce jednotlivých dílů. Nejdůležitější součástí v této sekci je rám, na který se postupně uchycují ostatní součástky. Vzhledem k povaze potřebných úchytů byly do návrhu zakomponovány i detailní konstrukční prvky, které jsou na konci příslušné kapitoly přehledně zobrazeny a popsány.

V následujících kapitolách se práce věnuje návrhu zapojení řídicího systému. Řídicí systém je realizován na navržené desce plošných spojů (DPS). Text popisuje zapojení jednotlivých součástí do funkčních bloků a realizaci samotné DPS. Dále je

v práci popsána realizace mechanické konstrukce a je zde uveden postup testování zhotoveného prototypu.

Zařízení je navrženo na nynější požadavky zadavatele, avšak v řešení tohoto projektu je také uvažováno případné rozšíření aplikace. Možná rozšíření jsou shrnuta v poslední kapitole.

Zadání diplomové práce pochází od firmy PSI (Photon Systems Instruments), což je malá firma, která již 20 let vyvíjí a vyrábí inovativní profesionální přístroje s využitím v oblasti rostlinné a řasové biologie a biotechnologie a zemědělství. Sídlo firmy je v Drásově.

1 Rozbor zadání

Zadáním diplomové práce od soukromé společnosti Photon Systems Instruments (PSI) je navrhnout systém ovládání robotického pojezdu kamerového skeneru a pojezd samotný. Tohoto úkolu bude dosaženo návrhem mechanické konstrukce nosného rámu kamer a následně návrhem řídicího členu v podobě desky plošných spojů (DPS) s mikroprocesorovou jednotkou a požadovanými komunikačními periferiemi. U zhotoveného zařízení poté bude ověřena činnost.

Při realizaci tohoto zařízení bude prvním úkolem vytvořit nosnou konstrukci, která bude nést různé kamery podle druhu vykonávaného měření. Pohyb kamery je zamýšlen v souřadnicových osách x a y , čímž se zajistí plošné skenování oblasti pod rámem. Zařízení bude umístěno ve speciálních růstových komorách, které společnost PSI již vyrábí. Rozměry konstrukce podléhají růstovým komorám, které lze vidět na obr. 1. Rozměry této komory jsou přibližně 2x1 m. Rám musí být navrhnout v rozměrech kompatibilních s komorou, aby jej bylo možné uvnitř komory uchytit. K pohybu zařízení budou použity adekvátní typy motorů. Řízení motorů bude vykonávat řídicí DPS. Tato DPS bude připojena k „nadřazenému systému“, který však není součástí této práce. Zařízení bude nutné navrhnout jako nový výrobek, neboť se jedná o prototyp. V programu Solidworks verze 2016, jehož licenci poskytne společnost PSI, bude proveden kompletní návrh mechanické části zařízení.



Obr. 1 - Ukázka růstové komory společnosti PSI

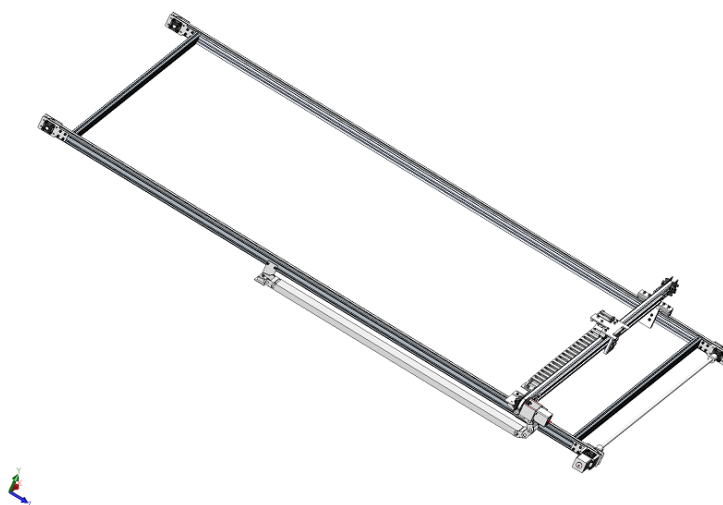
Druhým úkolem bude vytvoření řídicí DPS. K řízení motorů je požadováno použít mikrokontroler, který bude zodpovědný za řízení budičů, vyhodnocování zpětné vazby systému a komunikaci s nadřazeným systémem. DPS bude navržena v programu PADS verze 9.3.1 od společnosti Mentor Graphics. Plnou licenci tohoto programu opět poskytne společnost PSI.

2 Popis zařízení

Zařízení pospané v této kapitole slouží jako nosná konstrukce pro uchycení několika druhů kamer, které budou snímat růst a fyziologický stav rostlin. Tyto rostliny budou volně položeny pod konstrukcí – rámem, na kterém bude pomocí pohyblivých ramen umístěna kamera. Rameno nesoucí kameru má možnost pohybovat se ve dvou směrech. Ve směru osy x a osy y . Je tedy možné umístit kameru nad libovolný souřadnicový bod a provést snímání. Vyměnit kamery bude možné pouze ručně. Zařízení nedisponuje automatickým měničem snímacích senzorů.

2.1 Podoba zařízení

Jak již bylo zmíněno v popisu, zařízení má nosné rameno, na které se uchytlí kamera snímající květiny. Vzhledem k tomu, že byl rám vytvářen přímo dle určitých požadavků na velikost, byla jeho podoba navržena a zkonstruována v programu Solidworks. Podobu celého zařízení je možné vidět na obr. 2.



Obr. 2 - Konstrukce rámu

Rozměry konstrukce jsou záměrně volené tak, aby bylo možné celý rám umístit do speciálních růstových komor, které zadavatelská společnost již vyrábí. Konstrukce je navržena na pohybování břemen o hmotnosti až 10 kg. Většina kamer tuto hmotnost nedosahuje, nicméně existují kamery, které se k této hmotnosti blíží. Rám a celý pojezd je tedy navržen s dostatečnou rezervou pro případné přidávání jiných druhů snímačů.

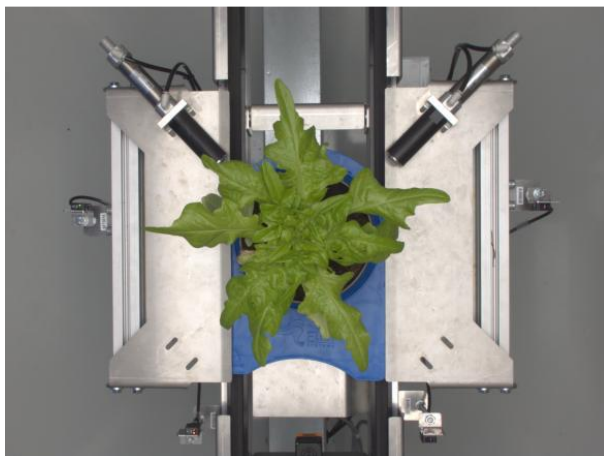
2.2 Druhy měření na rostlinách

Nosné rameno, které je možné vidět na obr. 2, je uzpůsobené na uchycení kamer. Tyto kamery budou vykonávat určité typy snímků. Společnost PSI se zabývá měřeními typu *RGB imaging*, *Thermo imaging*, *Fluorescence imaging* a *Hyperspectral imaging*. [1]

2.2.1 RGB imaging (snímek růstu rostliny)

Základním druhem měření na rostlinách je tzv. *RGB imaging*. Jak název napovídá, jedná se o snímek pomocí *RGB* kamery, která vytvoří obrázek podoby rostliny ve spektru viditelného záření.

Podle tohoto záznamu je možné zkoumat, jak rychle rostlina roste a jaká je její fyziologická stavba. Dále je také možné podle barvy listů a podle odstínu zelené barvy na listech zkoumat zdraví rostliny, případně pozorovat změny po vystavení rostliny stresovému prostředí. Stresové prostředí může být jak tepelné, tj. pokud byla rostlina vystavena náhlému poklesu (nebo naopak vzrůstu) teplot, tak také pomocí krátkého, silného světelného impulzu, který je zprostředkován pomocí výkonného osvětlovacího zařízení. Podobu takového snímku je možné vidět na obr. 3, kde je rostlina zachycena v podobě, ve které ji vidí *RGB* kamera. [1]



Obr. 3 - Snímek z RGB měření [1]

2.2.2 Thermal imaging (snímek infračerveného spektra)

Další druh měření je termální obraz rostliny. Opět se jedná o zkoumání, jak rostlina reaguje na stresový faktor. Jakým způsobem ze sebe uvolňuje teplo či nikoli otevřením průdušných pórů v listech. [1]

Takovýto snímek se poté porovnává s obrázkem z měření, kdy byla rostlina v klidu a nepůsobil na ní žádný z vnějších rušivých vlivů. Případně je zachyceno více květin naráz, přičemž na některé byl stresový faktor aplikován a na zbylé nikoli. Z výsledků je potom vyhodnoceno, jak rostlina na tyto extrémy reaguje a z toho poté vyhodnocen její stav. Obr. 4 zřetelně zobrazuje umístění více květin do snímku, přičemž trojice horních květin nebyla vystavena stresu z okolí a jsou tedy méně viditelné, na rozdíl od spodních třech rostlin, které vyzařují větší množství tepla. Ve snímku platí, čím tmavší barva, tím více tepla je vyzářeno. [1]



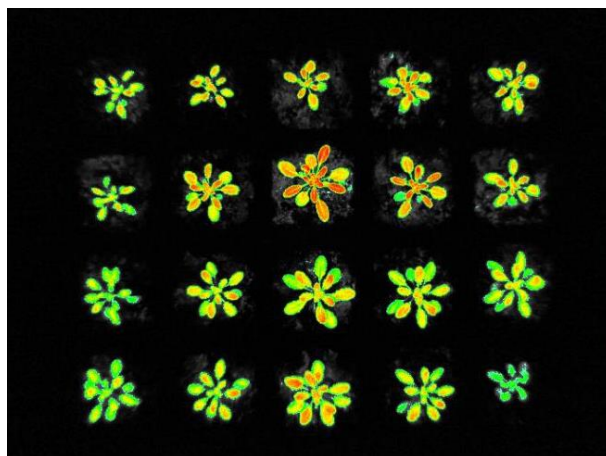
Obr. 4 - Snímek z termálního měření [1]

2.2.3 Fluorescence imaging (snímek fluorescenčního záření)

U tohoto typu měření se využívá snímek, který zachytí vyzařování rostliny v závislosti na předchozím osvětlení.

To znamená, pokud je květina osvětlena určitým zdrojem světla, ať už z infračervené oblasti nebo z oblasti viditelného spektra, je toto světlo částečně pohlceno v molekulách chlorofylu, částečně odraženo z povrchu rostliny a také je z rostliny vyzářena velmi malá dávka záření, které je také měřitelné. Podle poměru

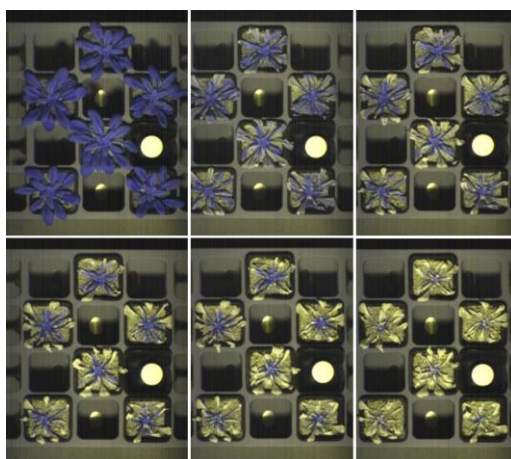
jednotlivých záření se poté vyhodnocuje stav rostliny. Názorný výsledek měření je vyobrazen na obr. 5. [1]



Obr. 5 - Snímek fluorescenčního měření [1]

2.2.4 Hyperspectral imaging (snímek širšího spektra)

Pomocí tohoto druhu měření je na květinách zkoumáno především množství vody, které se nachází v listech. Vzhledem k tomu, že je snímací kamera velmi citlivá na spektrum 1000 – 2500 nm, voda v listech je právě v tomto spektru viditelná a proto měřitelná. Při měření je skenováno celé spektrum zmíněných vlnových délek. Snímek z tohoto měření je na obr. 6. Na obrázku jsou rostliny vystaveny vysoušecímu procesu, tj. kdy je zamezen přísun vody. Barva poté udává množství vody v rostlině. [1]



Obr. 6 - Snímek hyperspektrálního měření [1]

3 Výběr elektronických komponent

Následující kapitola obsahuje výběr elektronických komponent společně s diskuzí nad výběrem jednotlivých variant a jejich použití v návrhu zařízení.

3.1 Motory

Základním prvkem, který je zodpovědný za pohyb zařízení jsou motory. V zařízení kamerového skeneru jsou použity dva motory. Jeden je připevněn na nosném rámu a vykonává pohyb ramene ve směru osy x . Druhý motor vykonává pohyb samotného úchytu kamery ve směru osy y .

3.1.1 Druhy motorů

Na trhu je velké množství motorů různých druhů. Avšak ne všechny jsou vhodné pro tento typ aplikace. Motory lze velmi obecně rozdělit následovně [2]:

- kartáčový (komutátorový) stejnosměrný motor,
- univerzální motor (na střídavé i stejnosměrné napětí),
- bezkartáčový stejnosměrný motor,
- střídavý 3fázový indukční (asynchronní) a synchronní motor,
- střídavý 1fázový motor,
- krokový bipolární a unipolární motor a
- reluktanční / reakční motor.

Každý z typů motorů má své upotřebení a využívá se ve specifických aplikacích. Požadavkem na realizaci tohoto zařízení bylo, aby bylo možné motory jednoduše řídit a budit pomocí budičů motorů umístěných na DPS, a také, aby byl jejich pohyb plynulý a snadno kontrolovatelný. Dalším faktorem byla volba napájení. Myšlenka byla využít jednotného napájení pro motory, DPS a ostatní součástky. Ze zmíněných důvodů byly vybrány motory krokové. Jejich popis, parametry a zvolená varianta je uvedena v další kapitole.

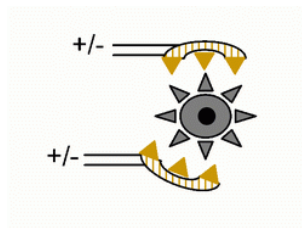
3.1.2 Krokové motory

Krokový motor je synchronní točivý stroj napájený stejnosměrným pulsním proudem. Magnetické pole je zde vytvářeno napájením cívek – pólů. Rotor se pohybuje mezi cívkami v jednotlivých stabilních polohách tzv. krocích. Počet kroků je dán fyzickým počtem dvojic pólů, avšak počet kroků lze zvýšit způsobem ovládání tzv. „mikrokrokováním“. Mikrokrokování je princip, kdy se rotor motoru uchýlí a zůstane stát v pozici mezi dvěma póly. Toho je docíleno shodným napájením dvou sousedních cívek. Aby bylo možné motor rozpohybovat, je nutné ho připojit k řídicímu členu. Během funkce krokového motoru nedochází k mechanickému opotřebení, neboť mezi rotorem a statorem nedochází k mechanickému kontaktu. Standardní krokový motor má 200 kroků na otáčku, tedy 1,8 stupně na krok. Výhodou krokového motoru je, že pokud se nepřetěžují, nemusí se zavádět zpětná vazba. Stačí počítat provedené kroky. Nevýhodou krokového motoru je trvalý odběr i v klidové poloze [2] [3] [4]

Krokové motory lze rozdělit do dvou základních skupin [2]:

- Bipolární krokové motory
- Unipolární krokové motory

U bipolárního motoru stator běžně obsahuje pouze 2 vinutí (dva páry napájecích vodičů). Rotor je tvořen permanentními magnety s póly (zuby), které jsou přitahovány „zuby“ statorového vinutí. Přesnost krokování je dána počtem zubů rotoru (někdy jich obsahuje i několik stovek). Motor dokáže zastavit a zůstat stát na konkrétní pozici zubu nebo na 1/2 pozici (mezi zuby), přičemž síla držení motoru na místě je dána velikostí proudu. Nejběžnější je tedy bipolární provedení s dvěma páry vodičů, které umožňuje dopředný i zpětný chod, krokování po 1/2 kroku či mikrokrokování pomocí současného buzení obou vinutí. Prostředí v krokovém motoru ukazuje obr. 7. [2] [5]



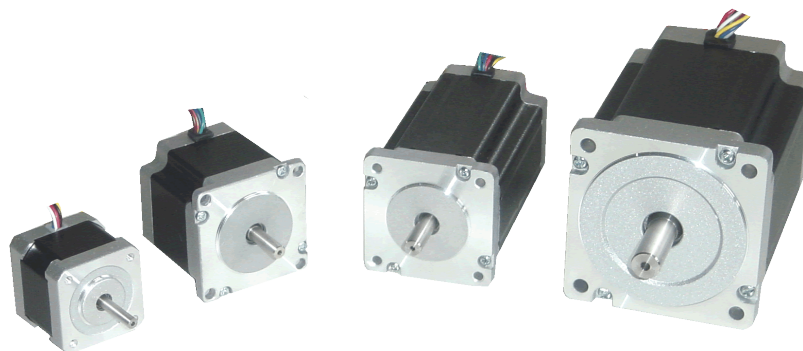
Obr. 7 - Vnitřní struktura krokového motoru [5]

Unipolární provedení je tvořeno 6 vodiči (3 páry), i když běžněji jen 4 (jeden společný vodič místo třech), přičemž neumožňuje zpětný chod, ale pouze dopředný chod daný vždy napájením jednoho vodiče každého páru. [2] [5]

Další pojmy, které jsou vhodné zmínit, jsou jednofázové a dvou fázové řízení. Jednofázové řízení znamená, že magnetické pole generuje pouze jedna cívka (případně dvojice cívek při bipolárním buzení). Při dvoufázovém řízení generují shodně orientované magnetické pole vždy dvě sousední cívky. Daní za vyšší kroutící moment je dvojnásobná spotřeba oproti řízení jednofázovému. [3]

Krokové motory jsou vyráběny v různých velikostech, podle typu příruby a jejich momentu. Příruba je pojem pro rozteč děr na uchycení motoru k zařízení. Tato se označuje pojmem *NEMA*. Nejpoužívanější motory k dostání jsou motory s velikostí příruby *NEMA* – 17, 23 a 34. Obecně platí, že čím větší je motor, tím také roste jeho moment. Zároveň je však možné koupit motor se stejnou přírubou, ale jiným kroutícím momentem. Tyto motory se poté vzájemně liší pouze fyzickou délkou statoru.

Rozdíl ve velikostech je názorně zobrazen na obr. 8. Je patrný rozdíl mezi menší a větší přírubou. Také je vidět v levé části obrázku krokový motor s krátkou délkou statoru, zatímco v pravé straně je délka statoru větší a tento motor poté disponuje větším kroutícím momentem. [6]



Obr. 8 - Krokové motory [6]

3.1.3 Výběr krokového motoru

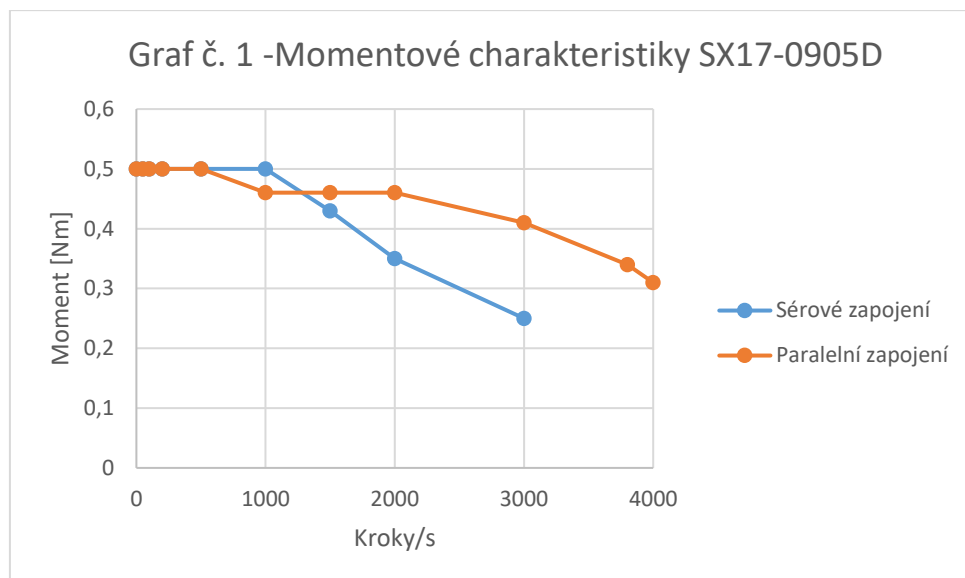
Při výběru krokového motoru bylo nutné zvážit několik faktorů. Prvním z nich byla cena. Cena krokových motorů se liší podle velikosti a momentu. Druhým kritériem byla fyzická velikost krokového motoru, aby se dal umístit a uchytit na požadované místo. Posledním, neméně důležitým požadavkem, byla otázka výkonu – momentu.

Motor s přírubou *NEMA17* je pro tuto aplikaci dostatečný. V produktovém listu byl vybrán motor s touto přírubou a velikostí momentu 0,6 Nm. Velikost momentu je klíčová. Touto silou působí motor na břemeno. Při uvažování nad výběrem motoru o správném momentu se musí vzít v potaz, že nejde pouze o uvedení břemena do pohybu, ale také především o jeho zastavení. Je tedy při výběru vhodné dimenzovat moment alespoň dvojnásobný. Zamezí se tak nechtěnému přeskočení kroku při pohybu motoru. [6]

Myšlenka realizace tohoto systému byla vytvořit zařízení a konstrukci na pohybování břemene o hmotnosti 10 kg (v hmotnosti se uvažuje váha všech druhů kamer i samotného nosného ramene). Na tuto váhu lze spočítat požadovaný moment. Tento údaj je však reálně podstatně menší. Vzhledem k mechanickému řešení aplikace, kdy se ramena pohybují na kluzných ližinách, je potřebný moment velmi těžce vyčíslitelný. Motor disponuje momentem 0,6 Nm, tedy silou 0,6 N ve vzdálenosti 1 m od své hřídele. Po přepočtu na fyzickou velikost řemenice, která má poloměr 5 cm, je zde moment 20krát větší a maximální moment motoru se dle vztahu (1) rovná 12 N na obvodu řemenice. Moment i s rezervou dostačuje a lze takovýto motor použít.

$$0,6 \text{ N} \cdot 20 = 12 \text{ N} \quad (1)$$

Další parametrem, který je zásadní pro volbu motoru, a především jeho zapojení, je charakteristika momentu motoru v závislosti na otáčkách při sériovém a paralelním zapojení. Níže na grafu č. 1 [6] lze vidět, že se momentové charakteristiky liší, jedná-li se o dvě rozdílná zapojení. Charakteristiky jsou převzaty z dokumentu o momentových charakteristikách výrobce. V tomto dokumentu se obě tato zapojení nachází v rozdílných grafech, a proto byly grafy pro přehlednost překresleny do jednoho obrázku.



Z křivek je zřejmé, že při počtu kroků nad 1400/s je moment u paralelního zapojení vyšší a zůstává vyšší i při dalším zvyšování rychlosti otáček. Z tohoto grafu lze vycházet a zapojit motor paralelním způsobem.

3.2 Budiče krokových motorů

Mezi řízením a samotnými krokovými motory musí být zakomponovaná výkonová část, která je zodpovědná za správný chod motorů. Buzení krokových motorů je rozsáhlé téma, a proto bude zmíněno jen základní rozdělení. Krokové motory lze budit [7]:

- z napěťového zdroje,
- vynuceným proudem,
- pulzně.

Takovéto rozdělení buzení je však velmi obecné. Reálně je vhodné využít buďto vlastní navrhnutou elektroniku pomocí výkonových tranzistorů aj., nebo využít již dostupné budiče. Budiče existují jako součástky, které je možné přidat do vlastního návrhu DPS, nebo jako již vyrobené moduly, které se propojí kabeláží. Obě tyto varianty jsou poté přímo řízeny kontrolérem.

Pokud by bylo požadováno, aby bylo řízení realizováno na DPS, lze využít součástky, jakými jsou například obvody Toshiba TA8435HQ. Vzhledem k faktu, že se jedná o výkonové řízení, je nutné zohlednit i velikost chladiče, který je k této součástce nezbytný. [8]

3.2.1 Výběr budiče krokových motorů

Při výběru budiče krokových motorů byl brán zřetel především na schopnost dodávat určitý jmenovitý proud do krokových motorů, dále aby byl obvod schopen uchlazení, aby se dal umístit na DPS a také, aby byly náklady na pořízení co nejmenší. Úmyslem při vytváření řídicího systému bylo vytvořit zařízení schopné buzení takřka libovolného motoru libovolné velikosti i momentu. Z tohoto důvodu byly do návrhu začleněny dvě varianty.

První varianta byla využít „interní“ budiče na DPS. Jako adekvátní součástky byly vybrány: Toshiba TA8435HQ [9] a Toshiba TB6560AHQ [10]. Po studii katalogové dokumentace obou ze součástek vyšlo najevo, že je vhodnější použít druhou zmíněnou součástku. Její podoba je na obr. 9. Tato disponuje dostatečným výstupním proudem až 3,5 A (oproti 1,5 A u TA8435HQ) do vinutí motorů a její zapojení není náročné na množství součástek. Obvodem lze rozdělit základních 200 kroků motoru v poměru až 1/8, tedy celkem 1600 „mikrokroků“ na otáčku. Další možnost je regulace průběhu kroutícího momentu v rozsahu 25, 50, 75 a 100 % a nastavení způsobu vybíjení zbytkového proudu. Obvod je schopný regulovat napětí až 40 V při výstupním proudu až 3,5 A. Dále je obvod vybaven ochranou proti přehřátí, která vypne při teplotě vyšší než 85 °C. [8] [10]



Obr. 9 - Budič Toshiba TB6560AHQ [8]

Obvod umožňuje nastavení výstupního proudu externími rezistory, který vychází ze vztahu (2) [10], ze kterého lze jednoduchou úpravou získat následující vztah (3). Z tohoto lze poté určit hodnotu odporu 0,15 Ω pro maximální proud do vinutí 3,3 A. Tato hodnota koresponduje s maximální hodnotou proudu 3,5 A, který je součástka schopna dodat.

$$I_{OUT} = \frac{0,5 V}{R_{NF}} \quad (2)$$

$$R_{NF} = \frac{0,5 V}{I_{OUT}} \quad (3)$$

Vzhledem k výši proudu procházejícím rezistorem je zvoleno pouzdro dimenzované na 2 W ztrátového výkonu.

Mikrokrokování lze nastavit kombinací pinů M1 a M2, jak znázorňuje tab. 1 [10]. Dále lze obvodem regulovat úroveň kroutícího momentu motoru konfigurací pinů TQ1 a TQ2. Toto nastavení zobrazuje tab. 2 [10]. Písmena L a H znázorňují logické úrovně signálů.

Tab. 1 - Konfigurace mikrokrokování

M1	M2	Kroky/otáčka
L	L	200
L	H	400
H	L	800
H	H	1600

Tab. 2 - Konfigurace momentu

TQ1	TQ2	Hodnota momentu
L	L	100%
L	H	75%
H	L	50%
H	H	20%

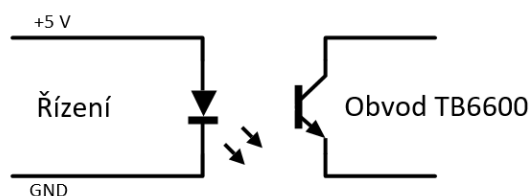
Obvod je napájen 5 V a výkonová část je poté připojena na zdroj 24 V. Princip ovládání budiče a jeho zapojení je popsán v kapitole realizace.

Druhá zvolená varianta, jak ovládat motory, je v použití již hotových modulů budičů motorů. Podobu modulů je možné vidět na obr. 10. Výhodou tohoto řešení je možnost pořízení libovolného modulu, který je schopen budit motory vyšších momentů bez nutnosti změny logiky řízení a úpravy na DPS. Moduly se od sebe vzájemně liší cenou, schopností dodávat určitý proud a velikostí. Ovládání takovýchto „externích“ modulů je ve skrze obdobné, jako u obvodů Toshiba. V návrhu je tedy uvažováno s oběma variantami a lze tak budit motory s větším příkonem. Modul je napájen opět 5 V a jeho výkonová část 24 V, tedy shodně, jako v případě součástek Toshiba. [11]



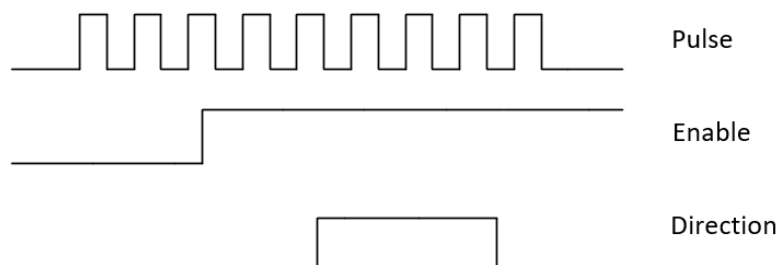
Obr. 10 - Externí modul budiče [11]

Zapojení externích modulů je velmi snadné. Kromě výše zmíněného napájení je nutné na svorky budiče přivést signály, které obvod ovládají. Tyto jsou uvnitř modulu galvanicky odděleny optočlenem a pro aktivaci funkce je nutné uzemnit signál GND, jak naznačuje ilustrace vnitřního upořádání na obr. 11.



Obr. 11 - Vnitřní obvod externího modulu

Tímto způsobem jsou řízeny všechny logické signály, tj. signál *enable* (signál, který aktivuje budič), signál *pulse* (vstup generátoru pulzů) a signál *direction* (signál, jehož úroveň určuje směr rotace motorů). Průběh těchto signálů je možné vidět na obr. 12. Signál pulzů může být přítomný na svorkách neustále. Motor se roztočí až poté, co se signál „enable“ uvede do aktivního stavu.



Obr. 12 - Průběh signálů pro ovládání modulu

3.3 Snímače polohy a pohybu

Aby bylo možné přesně určit pozici, a především pohyb motorů, jsou do návrhu zakomponovány i enkodéry a referenční indukční snímače, ze kterých je možné údaje o pohybu a poloze vyčítat.

Při průzkumu trhu bylo zjištěno, že se vyrábí motory společně s enkodéry jako celek. Ovšem jejich cena je nesrovnatelná (více než desetinásobná), a proto byl zvolen způsob, kdy se na druhou výstupní hřídel z motoru umístí enkodér samostatně. Výstupy z enkodérů jsou přivedeny linkou RS422 kabeláží k DPS, kde jsou opět převedeny na signál kompatibilní s kontrolérem.

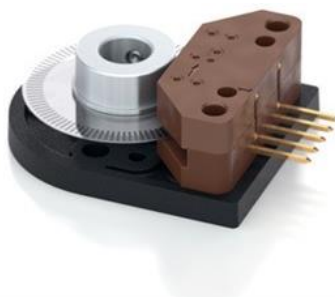
Do návrhu jsou začleněny i referenční snímače polohy. Ty slouží k definici počátečního výchozího bodu, na který zařízení při startu najede. Z referenční pozice se poté vyhodnocují jednotlivé posuny.

3.3.1 Výběr enkodéru

Při výběru enkodérů byly klíčové především rozměry vnitřní duté osy, do které se umístí hřídel z krokového motoru. Všechny nalezené enkodéry disponují dostatečným rozlišením a není tedy nutné využít speciálních typů. Dalším faktorem ovlivňující výběr byla spotřeba, celkově požadavek na napájení a také cena. [12]

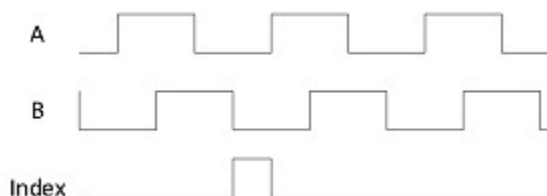
Při výběru vyšlo najevo, že lze použít enkodery kapacitní nebo optické. U kapacitních enkodérů by mohlo docházet k rušení vzhledem k blízkosti u vinutí motorů, a proto byl vybrán enkodér optický.

Z těchto uvedených faktů byl vybrán optický enkodér E2 od společnosti US Digital. Podobu enkodéru je možné vidět na obr. 13.



Obr. 13 - Enkodér [12]

Enkodér je napájen 5 V a jeho funkce je následovná. Uvnitř plastového krytu se nachází kovový prstenec. V prstenci jsou otvory, které jsou vůči sobě odsazené. Přes díry v prstenci prosvítá světlo z LED diod, které je zachycováno vnitřními tranzistory a tím indikován signál. Podle signálu, který přijde dříve, je identifikován směr rotace prstence a tím tedy i směr posuvu motoru. Průběh těchto pulzů je možné vidět na obr. 14.



Obr. 14 - Průběhy signálových pulzů enkodéru [12]

Po průchodu optického signálu přes otvory v prstenci se tento signál převede na signál elektrický. Po otočení prstence, tedy pokud se vytvoří signál na obou pozicích (A i B), se vygeneruje signál „index“, který je možné vyčítat a určit tak počet otáček prstence. Z tohoto údaje poté lze vypočítat celkovou délku pohybu zařízení. Vzhledem k výši pořizovacích nákladů optických enkodérů je s nimi v návrhu sice počítáno – DPS je navržena tak, aby bylo možné enkodery použít, ale v realizaci tohoto zařízení enkodery začleněny nejsou.

3.3.2 Referenční snímače polohy

Centrovací snímače slouží jako reference pozice pro každý start systému. Nad tyto indukční snímače najede rameno a vyšle tak signál do řídicí elektroniky o své pozici. Snímače pozice jsou umístěny na obou ramenech, avšak jen na jedné ze stran. Záměrem je, aby se zařízení při startu vždy zkalibrovalo na výchozí pozici.

Po průzkumu nabídky výrobců indukčních snímačů vyšlo najevo, že existují čtyři základní typy senzorů. Rozdílem jednotlivých typů je odlišná vodivost vnitřních spínacích tranzistorů a prezentace výstupu v nativní úrovni bez detekce v úrovni log. 1, nebo naopak v log. 0. Při přejetí kovového předmětu nad snímač se jeho výstupní logická úroveň změní a tím je indikována referenční poloha. [13]

Do návrhu byl zvolen snímač se třemi vývody. Dva slouží jako přívod napětí 24 V do vnitřního obvodu a zem. Třetí je indikační výstup. Jedná se o typ s nativním výstupem „NO“ (normally open – rozpojený obvod). Na jeho výstupu

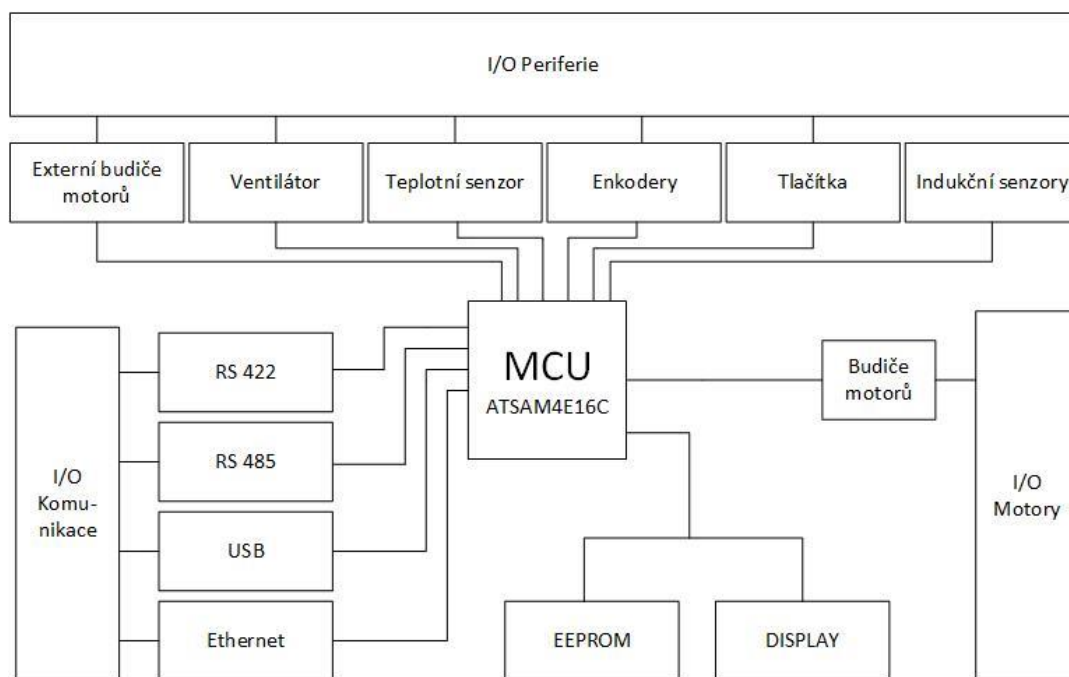
se při indikaci nachází 24 V. Napětí je přivedeno na DPS a děličem sníženo. Tento signál je následně negován, aby se pin kontroleru při indikaci uzemnil. Podoba indukčního snímače je vidět na obr. 15.



Obr. 15 - Indukční snímač [13]

3.4 Řídicí elektronika

Řízení krokových motorů, komunikaci s vnějším nadřazeným systémem, zobrazování na display a případnou komunikaci s PC bude zajišťovat řídicí DPS s mikrokontrolerem. Mikrokontroler je mozkiem celé DPS, ke kterému jsou připojeny veškeré periferie. Blokové schéma na obr. 16 ukazuje orientační strukturu propojení.



Obr. 16 - Blokové schéma řídicí elektroniky

3.4.1 Napájení

K napájení DPS lze použít dva druhy stejnosměrných měničů napětí. Jedná se o stabilizátor lineární a spínaný. Výhodou spínaného zdroje je, že se procházející proud uplatňuje na generaci ztrátového tepla pouze určitou dobu danou střídou nabíjení výstupního kondenzátoru. Tato střída závisí na výkonu odebíraném ze zátěže. Další výhodou je možnost nastavení úrovně výstupního napětí zpětnovazebním způsobem. To je sice u některých typů lineárních měničů také možné, avšak vzhledem k velkému rozdílu vstupního (24 V) a výstupního (5 V) napětí byl zvolen stabilizátor spínaný. Jako adekvátní byl vybrán měnič LM22680, který disponuje dostatečným výstupním proudem až 2 A. Výhodou je kompaktní pouzdro a nízká cena. Napájení 5 V je potřebné na enkodéry, senzor teploty, externí budiče krokových motorů (moduly) aj. [14]

Následně je za tento měnič umístěn lineární stabilizátor, který vytváří z 5 V napájení 3,3 V pro většinu logických obvodů na DPS. Zde byl zvolen obvod LF33CD disponující maximálním výstupním proudem až 1 A. Důvod použití lineárního stabilizátoru je jeho velmi nízká cena a kompaktní pouzdro, které nevyžaduje další součástky v návrhu. [15]

3.4.2 Mikrokontroler

Trh poskytuje velké množství použitelných kontrolérů. Je nutné zmínit, že na řízení takového systému není nutné použít kontroler, který je schopen vykonávat složitější funkce. Požadavkem na výběr kontroleru také bylo začlenění nového kontroleru, který bude vyspělejší než stávající, který zadavatelská společnost doposud používá. Společnost ve svých produktech používá kontroler *SAM3S4C* s jádrem *ARM M3*.

Kritériem zadavatele bylo požití mikrokontroleru od společnosti Atmel. To vzhledem ke zkušenostem s programováním a také s možností využít vývojové kity. Společnost Atmel nabízí ve svém portfoliu několik rodin kontrolérů, z nichž bylo opět specifikováno, že je požadován kontroler s jádrem *ARM*.

Společnost používá kontroler rodiny *SAM3*. Pro tuto aplikaci byla vybrána rodina *SAM4*, tedy kontrolér s jádrem *ARM Cortex M4*. Jádra *Cortex* jsou také ve verzi *M3* a *M7*. Ty však v porovnání vyšly buďto příliš drahé a pro tuto aplikaci

nevyužitelné (v případě *M7*), nebo cenově a počtem periférií takřka totožné (*M3*). Proto byl vybrán kontrolér s jádrem *M4*. [16] [17]

Při zadání požadovaných vlastností do filtru vyhledávání kontroleru bylo nalezeno několik shod, ze kterých byl vybrán konkrétní typ. Stěžejními vlastnostmi požadovaného kontroleru byly:

- cena kontroleru,
- počet vstupně/výstupních portů (alespoň 80),
- paměť FLASH (alespoň 512 KB),
- UART periferie (alespoň 2),
- přítomnost Ethernet rozhraní přímo na čipu aj.

Výsledky takového hledání jsou zobrazeny v tab. 3.

Tab. 3 - Výsledky hledání kontroleru

Označení kontroleru	Paměť flash [kB]	Typ jádra Cortex	Cena (jeden kus)	Dostupnost
ATSAM3X8C	512	M3	10 \$	www.soselectronic.cz
ATSAM4E16C	1024	M4	6,6 \$	www.soselectronic.cz
ATSAM4E8C	512	M4	5,6 \$	www.soselectronic.cz
ATSAME70N19	512	M7	9 \$	www.atmel.com
ATSAME70N20	1024	M7	10,8 \$	www.atmel.com
ATSAME70N21	2048	M7	11,7 \$	www.atmel.com
ATSAMV71N19	512	M7	-	-
ATSAMV71N20	1024	M7	-	-
ATSAMV71N21	2048	M7	-	-

Vzhledem ke zmíněnému byl vybrán kontrolér *ATSAM4E16C*. Disponuje 100 vývody, jádrem *ARM Cortex M4*, velikostí FLASH paměti 1024 KB, čtyřmi UART rozhraními a spoustou dalších periférií, které lze potenciálně využít. Jeho cena je v porovnání s ostatními příznivá. Použití jádra *M7* není nezbytné a lze tak ušetřit náklady při pořizování. [17]

3.4.3 Komunikační periferie

Pro komunikaci s nadřazeným systémem, případně s PC a okolím je do návrhu začleněno několik komunikačních rozhraní.

3.4.3.1 RS422

Tato linka je do návrhu začleněna z jediného důvodu. Enkodery, které zaručují zpětnou vazbu pohybu motorů, jsou umístěny ve větší vzdálenosti od řídicí DPS. Proto je vhodné opatřit propojení posilovacím členem. Výstupy z enkodérů jsou celkem tři. Signály „A, B“ a signál „index“. Je tedy nutné posílit všechny tři. To je zaručeno dvojicí součástek *DS26LS31C* a *AM26LV32E* od výrobce Texas Instruments. Obě tyto součástky disponují celkem čtyřmi vstupy/výstupy, a je možné je využít na posílení trojice signálů z každého z enkodérů. Poslední vstup/výstup je na součástkách nevyužit. Součástky byly vybírány především s ohledem na jejich cenu a počet vstupně/výstupních portů a cenu.

V případě první zmíněné se jedná o „driver“ tedy součástku, která signály z klasických výstupů převádí na standard RS422. Její napájení je záměrně voleno na stejnou hodnotu, jako napájení enkodéru, tedy 5 V. Na druhé straně linky, tedy na DPS, se nachází druhá ze zmíněných součástek, přijímač RS422. Tato je pro změnu napájena 3,3 V, opět vhodně volené tak, aby se shodovala s napájecí úrovní ostatních součástek na DPS. [18] [19]

Vzájemná kompatibilita součástek o různých úrovních napájení byla zkoumána v katalogových listech výrobce a dle těchto informací a charakteru linky RS422 lze vzájemně součástky v návrhu použít. [18] [19]

3.4.3.2 RS485

Standardem, který společnost ve svých zařízeních používá, je rozhraní RS485. Touto sériovou komunikací je zajištěno vykonávání příkazů na posun kamery do požadované pozice a pořízení snímku kamery.

Do návrhu je začleněn obvod *SN65HVD3080E*. Jedná se o součástku, která v sobě obsahuje jak přijímací, tak i odesílací obvodovou část. Lze ji také využít na linku RS422, kdy se pouze neosadí propojovací odpory mezi jednotlivými vstupy/výstupy. Další myšlenkou využití této linky je použití dvojitého konektoru na vstupně/výstupní kabeláž. Jednotlivé řídicí DPS se poté dají v případě potřeby na víceosý systém za sebe řetězit a softwarově jednotlivé DPS adresovat. [20]

Výběr této součástky podléhal žádosti zadavatele vzhledem k dřívější zkušenosti v návrhu a hardwarové konfiguraci součástky v souvislosti s programováním komunikace v kontroleru.

3.4.3.3 USB

Další možností, jak lze se zařízením komunikovat, je pomocí rozhraní USB. Je možné se k řídící DPS připojit pomocí USB kabelu a zařízení tak ovládat a vyčítat z něj data.

V návrhu je dvojí způsob využití USB komunikace. První ze způsobů je přivedení dat přímo na příslušné piny kontroleru. Zvolený kontroler v sobě obsahuje USB periférii. Druhý způsob je pomocí obvodu *FT232RQ*. K této součástce lze přistupovat jako k převodníku rozhraní mezi UARTem a USB standardem.

Obě tyto varianty jsou na DPS realizovány. Cílem a myšlenkou dvojího zapojení je eliminovat součástku *FT232RQ* z návrhu, zprovoznit periférii přímo na kontroleru, součástku neosazovat (nenavrhopat zapojení s touto součástkou) a tím ušetřit náklady.

3.4.3.4 Ethernet

Následně je v návrhu začleněna Ethernet komunikace, která se jakožto periférie nachází přímo na čipu. Jedná se o komunikační rozhraní, které by mělo plynule během vývoje produktů nahradit zaběhlou RS485 linku.

Zde jsou piny kontroleru příslušící k ethernet periférii přivedeny na vstupy součástky *KSZ8081MNX*. Jedná se o součástku, která vytvoří na svých výstupech standart ethernetové fyzické vrstvy, která se přivede na výstupní konektor *RJ45*. Důvodem jejího výběru bylo zachovat standardizované zapojení kontroleru s touto periférií. [21]

3.4.3.5 I²C

Obsluhu EEPROM paměti a displeje zprostředkovává rozhraní I²C. I²C je opět jednou z periférií kontroleru, kterou lze využívat.

V návrhu je také řešen rozdíl mezi úrovněmi, a to mezi pamětí a displejem, respektive kontrolérem a displejem. Paměť je napájena z 3,3 V zdroje a úrovně I²C komunikace zde také mají hodnoty tohoto napájení. Na rozdíl od displeje, jehož logické obvody jsou napájeny 5 V úrovní.

Pro tento převod úrovní byla zvolena součástka *P82B96*. Obvod převádí logické úrovně signálů na vstupu na libovolné úrovně na výstup dle výše napájení druhého okruhu. [22]

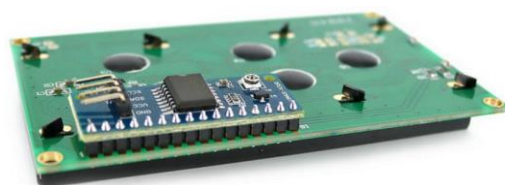
3.4.4 Displej

Zprávy o stavu systému, poloze a vše další, co bude zadavatel chtít, je možné zobrazit na displeji. Display byl vybírán na základě jeho ceny a rozměrů. K tomuto účelu postačí alfanumerický displej s velikostí pole 20x4 od společnosti Open – Smart. Výhodou displeje je komunikační rozhraní I²C, shodné s pamětí EEPROM. Jedná se o klasický charakterový LCD displej s modrým podsvícením. Jeho reálná podoba je na obr. 17 a). [23]

Společně s displejem lze pořídit I²C – 8bit modul *PCF8574*, který je určený pro displeje podobného charakteru. Jeho vstupy jsou pouze dva na napájení 2,5 – 6 V a dva I²C datové vodiče. Výstupy jsou shodné se vstupy displeje. Modul je osazen potenciometrem, kterým lze nastavit kontrast displeje. Konfigurace adresy zařízení je možné zapájením zkratovacích rezistorů na DPS modulu. Montáž modulu k displeji znázorňuje obr. 17 b). Displej lze pořídit již jako set společně s I²C modulem a ušetřit pořizovací náklady. [24]



a)



b)

Obr. 17 – a) LCD displej 20x4, b) připojení I²C modulu [23]

3.4.5 Paměť EEPROM

Uložení konstant a proměnných je možné do paměti EEPROM, která je do návrhu také začleněna. Požadavky na její výběr byly především cena, malá fyzická velikost pouzdra, dostatečná paměť a vhodné komunikační rozhraní.

Z uvedeného byla vybrána paměť *M24M01* od společnosti STMicroelectronics. Součástka disponuje pamětí 1 MB a je tudíž dostatečná pro uložení malého množství informací. Takovýmito informacemi budou například předdefinované pozice pro měření, rychlost pohybu motorů aj. Ovládaná je pomocí rozhraní I²C. Velikost pouzdra je zvolena tak, aby zbytečně nezabírala prostor na DPS. Podobu paměti lze vidět na obr. 18. [25]



Obr. 18 - Paměť EEPROM [25]

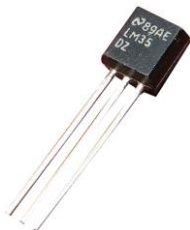
3.5 Detekce teploty a chlazení

Pokud se na DPS nacházejí výkonové součástky zastoupené budiči motorů, je nutné sledovat jejich teplotu a navrhnout adekvátní způsob odvodu tepla. Z tohoto důvodu je do návrhu začleněn senzor teploty společně s komparátorem s hysterezí, který funguje jako hardwarový spínač ventilátoru, případně zcela odpojí přívody na budiče, jak „interní“, tak odpojí aktivační signál „externích“ modulů. Zařízení by během měření nemělo produkovat příliš tepla, neboť jeho pohyb bude nespojitý. Záměrem návrhu řídicího členu bylo, aby jej bylo možné využít i v jiných aplikacích, kde by mohlo docházet k většímu zahřívání budičů kontinuálním buzením motorů (i vyšších momentů) a tím by hrozilo jejich přehřátí.

3.5.1 Senzor teploty

Jako adekvátní součástkou, která zkoumá teplotu chladiče, byl zvolen obvod *LM35* od společnosti National Semiconductor v pouzdru TO-92. Jedná se integrovaný

obvod, který dle teploty vytváří na svém výstupu příslušnou úroveň napětí. Podobu součástky společně s demonstrací pouzdra je možné vidět na obr. 19.



Obr. 19 - Teplotní senzor LM35 [26]

Důvod výběru tohoto obvodu je, že jej lze napájet 5 V zdrojem, tedy stejným, jako ostatní součástky v návrhu. Dalším pozitivem je jeho pořizovací cena a jednoduchost zapojení do systému. Součástka má tři vývody. Dva na napájení a třetí, který na výstupu udává teplotu ve formátu 10 mV/°C. Odečet teploty je tedy snadný a lze jej vyčítat kontrolérem skrze analog-digitální převodník. [27]

3.5.2 Komparátor s hysterezí

Informace o teplotě jsou zároveň vyčítána kontrolérem a také je tento výstup přiveden na komparátor *LM358* od společnosti Texas Instruments. Ten je do systému zařazen z jednoduchého důvodu. Aby bylo možné teplotu systému, respektive teplotu chladiče, hlídat, je v návrhu hardwarová teplotní ochrana, tedy systém komparátoru s hysterezí s nastaveným „aktivačním“ napětím, který sepne ventilátor připevněný na chladiči. Důvod dvojího kontrolování (hardwarové i pomocí kontroleru) teploty je praktický. Pokud by došlo k zaseknutí programu, ten by nebyl schopen sepnout větrák v potřebné chvíli a tím by mohlo dojít k přehřátí systému. Z tohoto důvodu je ventilátor spínán analogovou rozhodovací logikou. Komparátor hlídá i přehřátí systému a je připojen na aktivační vodiče budičů, které v případě potřeby odstaví z činnosti. [28]

Jako adekvátní obvod pro tento účel byl zvolen dvojitý operační zesilovač *LM358* zapojený jako komparátor s hysterezí. Kritériem výběru byla především pořizovací cena, co nejmenší pouzdro a přítomnost právě dvou operačních zesilovačů v jednom pouzdru. Nebyl zde kladen požadavek na přesnost a případnou vyšší rychlost přeběhu, a lze tedy tento obvod bez problému využít při návrhu hardwarové teplotní ochrany.

Ventilátor, který je tímto způsobem spínán je zvolen takový, aby jeho napájecí napětí opět bylo shodné s napájením budičů, tedy 24 V.

3.6 Vstupně/výstupní konektory

Posledním důležitým prvkem, který byl při návrhu nutný zvážit, jsou konektory pro komunikaci a také pro přívodní a výstupní kabeláž. Důležitým faktorem je opět cena, avšak podstatnějším výběracím kritériem je spolehlivost uchycení a jednoduchost při manipulaci.

Komunikační výstupy byly opatřeny konektory tak, aby splňovaly standardy. U konektoru USB se jedná o konektor mini-USB. Za zmínku stojí konektor pro RS485 linku, kdy zadavatelská společnost používá jako standard ve svých výrobcích dvojitý *RJHSE 5381* ethernet konektor. Jeho podoba je k shlédnutí na obr. 20.



Obr. 20 - Dvojitý RJ45 konektor [29]

Důvod, proč je zvolen právě dvojitý konektor je ten, že takto lze spojovat více řídicích DPS za sebe a vytvořit tak systém, který lze adresovat a řídit tak z jednoho nadřazeného systému dva i více ovládacích DPS pro motory. Je tedy možné řídit i víceosé konstrukce.

U ethernetu byl zvolen jednoduchý konektor *RJ45*, konkrétně typ *J0011D21BNL*. Katalogový list této součástky je dostupný z [30]. Jedná se o konektor, který však v sobě má oddělovací členy signálů a vytváří galvanicky izolované signálové cesty.

Velké množství výstupních signálů pro motory vyžadovaly použití netradičních konektorů na výstupní kabeláž. Byly vybrány konektory, které se dají seřadit na jedné straně desky do celistvé řady a zabírají tak méně místa na DPS. Jako vhodné konektory byly vybrány *WAGO-233-203* a *WAGO-256-74*. Podobu lze shlédnout

na obr. 21. Od sebe se vzájemně liší pouze velikostí a případně množstvím jednotlivých výstupních otvorů. Konektory lze buďto skládat vedle sebe do řady nebo pořídit hotové trojice, čtveřice apod.



Obr. 21 - WAGO konektory pro kabeláž [31]

Jak je možné vidět na obrázku, do konektorů lze velmi snadno upevnit přívodní nebo výstupní kabeláž. Dalším pozitivem je velmi silné a spolehlivé upevnění kabelů ve svorkách. Na rozdíl například od klasických šroubovacích svorek (typu AKZ) je zde neustále vyvíjen tlak v místě uchycení. WAGO konektory slouží k přívodu napájení a jako výstupní svorky z budičů motorů do motorů samotných. Myšlenkou je na DPS umístit kryt, ve kterém budou otvory pro přístup ke konektorům. Aby nevyžadovala montáž kabeláže do DPS náradí, jsou vybrány svorky bez nutnosti šroubování.

Dalšími konektory přítomnými v návrhu jsou konektory typu *SPOX* a *PSH*. Ty není nutné demonstrovat obrázkem, neboť jsou známé a často používané. Tyto konektory jsou využívány jako přívod kabeláže z enkodérů, výstup na displej nebo na vstup z tlačítek, jejichž umístění se plánuje na ochranném krytu DPS.

4 Návrh mechanické konstrukce

Aby bylo možné rám a celou konstrukci vyrobit, bylo nutné prozkoumat možnosti, ze kterých by se zařízení dalo zkonstruovat. V následující kapitole bude popsán výběr jednotlivých mechanických komponent, které tvoří mechanickou konstrukci pojezdu a úchyty kamer.

4.1 Hliníkové profily

Nejdůležitější součástí, která tvoří samotný rám zařízení, jsou hliníkové profily. Na trhu je spousta druhů lišících se rozměry a hmotností. Liší se také vnitřním uspořádáním výztuže profilu.

Pro účely této aplikace byl vybrán profil s rozměry 20x40 mm. Jeho delší rozměr zajišťuje, že se konstrukce pod vlastní vahou nebude prohýbat. Obdélníkový profil byl zvolen z důvodu zamezení průhybu profilu po vahou nosného ramene a tím vychýlení jezdců v kluzných ližinách. Profil větší velikosti by zde postrádal funkci a přidával by na váze celého zařízení. Délka profilu je zvolena dle požadavků zadavatele.

Podoba takového profilu je vidět na obr. 22. Do profilu bylo nutné vyvrtat otvory pro uchycení bočních příček (opět profilů), řemenici aj.



Obr. 22 - Hliníkový profil

4.2 Lineární vedení s vozíky

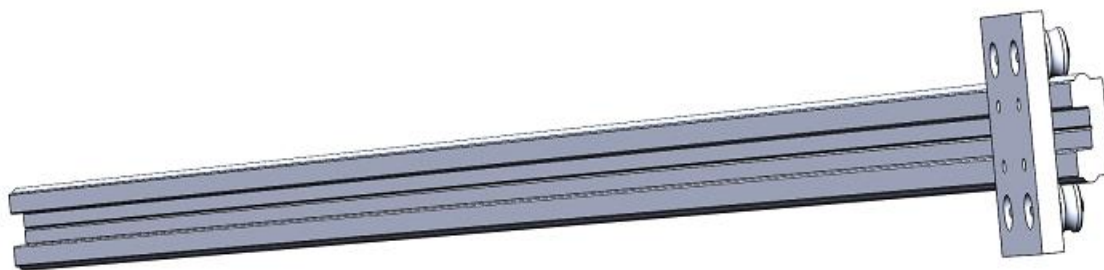
Na hliníkové profily je uchycena ližina – vedení. Toto vedení zajišťuje kluzné spojení mezi vozíkem a profilem. Díky vedení je možné, aby se vozík, nesoucí druhé rameno, mohl plynule pohybovat do obou stran.

Při průzkumu trhu bylo zjištěno, že se vedení vyrábí v několika variantách. A to jako celý systém, tedy kompletní set (vedení s vozíkem – lineární set) nebo se dají pořídit komponenty zvlášť (lineární vedení + vozík). Jejich rozdílem je konstrukční přesnost a přípustná vůle způsobená nepřesnou konstrukcí okolního rámu. Přičemž platí, důmyslnější zařízení je více náchylné na nepřesnost okolní konstrukce. Rozdílem mezi jednotlivými vedeními je cena. Ta se liší až několikanásobně v závislosti na přesnosti a délce vedení.

Další možností, jak tento pohyblivý systém sestavit, je použití kuličkových a trapézových šroubovic. Ty jsou však pro účely tohoto zařízení nevhodné z důvodu nákladu na pořízení šroubového závitu a ložiska a úspory zabíraného prostoru. [32]

Pro realizaci tohoto systému bylo vybráno lineární vedení. Lineární vedení se vyrábí v několika druzích lišicích se konstrukcí, provedením a cenou. Vozíky jsou poté k dispozici vždy k určitému rozměru provedení. Mohou mít podobu kolejnic, ve kterých se v drážce pohybuje kolečko, nebo mohou vozíky tuto ližinu obepínat. [32]

Z těchto skutečností byly vybrány dva samostatné komponenty, a to lineární vedení a vozík. Tato varianta byla vybrána jako nejvhodnější na základě nároků na přesnost a cenu. Lineárního vedení společně s vozíkem je na obr. 23.

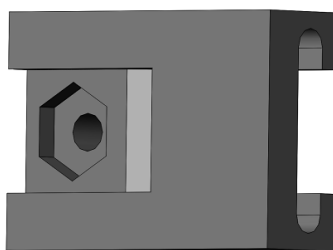


Obr. 23 - Lineární vedení s vozíkem

4.3 Ozubený řemen a jeho uchycení

Systém je navržen tak, že se na vozíky přichytí ozubený řemen, jehož pohyb bude vykonáván krokovým motorem, jehož hřídel bude spojená s řemenicí. Tento způsob byl zvolen jako vhodný vzhledem k ceně a náročnosti na přesnost.

Šířka řemene byla zvolena 12 mm, společně s kolem řemenice, která je nepatrně širší. Řemen je uchycen speciálními úchyty k nosnému ramenu. Podobu těchto úchytů je možné vidět na obr. 24.



Obr. 24 - Uchycení řemene k vozíku

Řemen poté obíhá celý profil z horní i dolní strany a na obou koncích každé osy je napnut pomocí řemenice. Ta má podobu kola s drážkami o určité rozteči. Do těchto drážek zapadnou zuby řemene. Podoba takového kola je na obr. 25.



Obr. 25 - Řemenice

Do takového kola je umístěna tyč, která má v sobě opět vystupující zub – „pérko“. Pérko zamezuje prokluzům hřídele uvnitř řemenice. Pomocí kluzných ložisek (viz. obr. 26) jsou pohonné součásti uchyceny na nosný hliníkový profil. Díky ložisku, které nemá pevnou konstrukci a umožňuje jistou vůli při pohybu, není uchycení tak náchylné na nepřesnosti.



Obr. 26 - Kluzné ložisko

4.4 Spojovací tyč a momentová spojka

Aby při pohybu nedocházelo ke křivení druhého ramene (osy y), je řemen umístěn i na druhou stranu rámu. Z důvodu úspory financí je využito jednoho motoru na každou osu pohybu, jehož energie je na druhou stranu přenesena pomocí spojovací tyče.

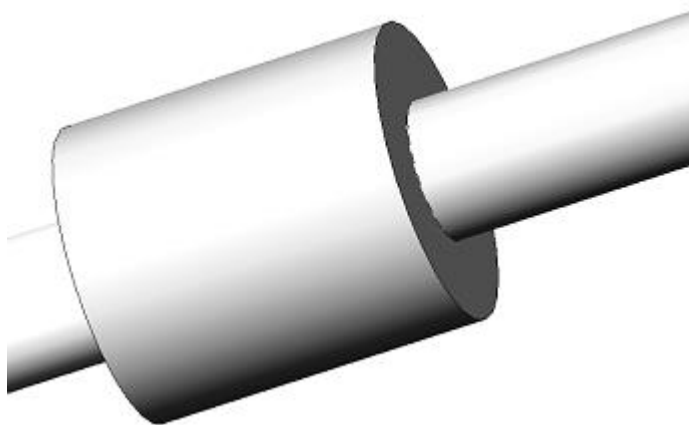
Spojovací tyče jsou k dostání v různých průměrech. Vzhledem k průměru osy vystupující z motoru byla vybrána jako adekvátní spojovací tyč s průměrem 12 mm. Podobu tyče je možné shlédnout na obr. 27. Jedná se o kulatinu určitého průměru.



Obr. 27 - Spojovací tyč

Spojovací tyč je uchycena momentovou spojkou na osu vystupující z motoru. Spojky mohou mít různé průměry pro vstup hřídele. Lze pořídit i spojky, které spojí dvě tyče o různých průměrech. Momentové spojky dokáží velmi pevně stáhnout tyč

a zajistí tak neprokluzující spojení dvou míst. Spojení pomocí momentové spojky je vidět na obr. 28.

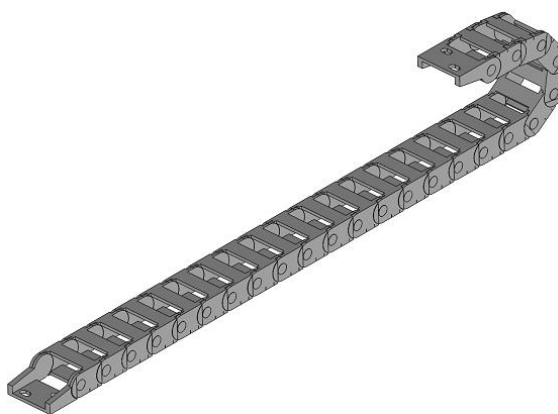


Obr. 28 - Spojení tyčí pomocí momentové spojky

4.5 Energetický řetěz

Protože je systém pohyblivý a nese kamery různých typů, je k těmto kamerám nutné přivést napájení a datové kabely. Kvůli požadavkům na pohyb systému a tím i napájecích a datových kabelů je nutné kabeláž umístit do tzv. energetických řetězů. Vložením kabeláže do ochranných řetězů je zařízení umožněno, aby se libovolně pohybovalo a přitom nedošlo k poškození kabelů nadměrným ohýbáním.

K dispozici je velká řada různých velikostí a délek, ze kterých lze velmi dobře vybírat. Pro tuto aplikaci byl vybrán řetěz, který v sobě dokáže nést až 6 přívodních kabelů. Podle množství kabelů a jejich délky je poté dimenzován poloměr jeho ohybu. Řetěz použitý v tomto zařízení je vyobrazen na obr. 29.

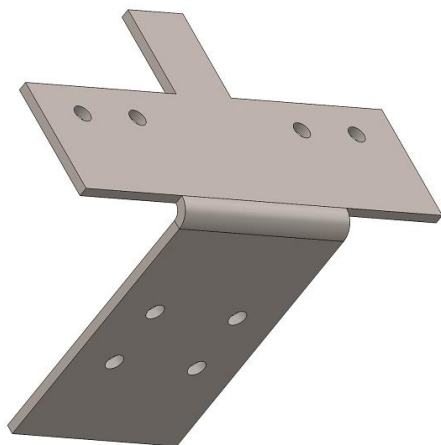


Obr. 29 - Energetický řetěz

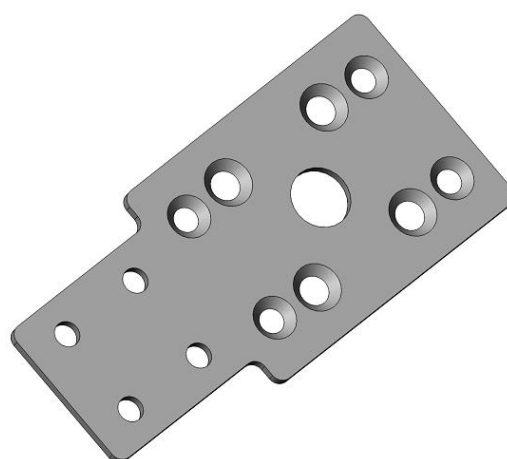
4.6 Vlastní díly

K uchycení druhého ramene (osy y), či napínacích řemenic, bylo nutné navrhnout vlastní díly, které se zadaly o výroby. Většina z nich je vyrobena z plechu o tloušťce 3 mm. Některé tyto díly jsou vidět na obrázcích níže.

Na obr. 30 a) je díl, který má v sobě vyvrtané otvory na uchycení vozíku, řemene a také je zároveň možné na tento díl připevnit energetický řetěz. Díl z obr. 30 b) poté slouží k uchycení napínacího kola řemenice. Dále se na něm nacházejí otvory pro uchycení krokových motorů společně s třecími ložisky.



a)



b)

Obr. 30 - a) díl spojující vozík s řemenem, b) úchyt řemenice a motoru

5 Realizace zařízení

V následující kapitole bude popsána realizace zařízení automatického skeneru rostlin. Nejdříve se text bude věnovat realizaci elektronické části, tedy především realizací řídicí DPS. Následně bude možné zhlédnout realizaci mechanické nosné konstrukce.

5.1 Realizace řídicí DPS

Před samotným návrhem DPS musely být vybrány součástky, které se při návrhu použijí. Ohledně součástek je nutné před jejich použitím zjistit potřebné informace. Pro návrháře jsou nejužitečnější informace o vzorovém zapojení, napájecím napětí, spotřebě během funkce, cena aj.

5.1.1 Počítání a přehled spotřeby součástek

Před návrhem byl u součástek proveden výpis jejich parametrů. Jednotlivé spotřeby a napájecí napětí byly přehledně vypsány do tabulky.

První součástkou, u které byl zkoumán její odběr, je kontroler. Jeho spotřeba se liší podle počtu využitých pinů, podle využitých periférií, a to vše podléhá zvolené výši taktovací frekvence. Pro účely této aplikace byla vybrána frekvence 64 MHz. Jednotlivé spotřeby poté znázorňuje tab. 4.

Na levé straně tabulky se nachází popis napájené části kontroleru. Následuje sloupec s údajem o spotřebě vzhledem k frekvenci, poté zvolená frekvence a součty jednotlivých položek. Výsledkem je celkový součet jednotlivých odběrů, který činí 20 mA.

Tab. 4 - Spotřeba kontroleru

Popis napájeného prvku	[μ A/MHz]	Frekvence kontroleru [MHz]	Odběr proudu při frekvenci [μ A]	Odběr jednotlivých skupin [mA]
Vlastní jádro	14000	64	14000	14
PIO A	5,23		334,72	IO piny
PIO B	1,44		92,16	
POI C	4,02		257,28	0,94208
PIO D	3,17		202,88	
PIO E	0,86		55,04	
UART	6,5		416	Periferie
TWI	4,7		300,8	
USB	5,11		327,04	4,20288
Ethernet	44,21		2829,44	
ADC	5,15		329,6	
CELKEM			19,14496	mA

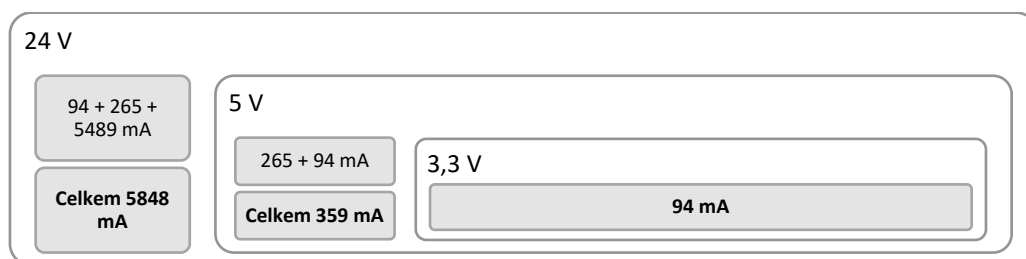
Po spočítání spotřeby kontroleru následovaly údaje o odběru ostatních součástek. Tyto byly opět uvedeny do tabulky a lze je vidět v tab. 5. Zde je vidět, že se v systému nachází dvojí napájení. Přítomnost dvojího napájení na DPS je zapříčiněna různorodostí součástek. Při návrhu byly přednostně vybírány součástky s napájecím napětím 5 V z důvodu rozdílné generace ztrátového tepla dané proudovým odběrem mezi spínaným měničem a lineárním stabilizátorem.

V návrhu se nachází i třetí zdroj. Jedná se o stejnosměrný měnič napětí *TMV0505S* od společnosti Traco Power. Součástka ve funkci systému vytváří izolované napájení a izolovanou zem pro správnou funkci RS485 komunikace. Důvod použití tohoto zapojení je, že je zde zamezeno případné rušení od okolí ze sousedních součástek a také případnému nepřesnému napájení ze zdroje vzdáleného přes celou DPS. Tento zdroj je však pro funkci DPS jako celku nepodstatný a není tudíž uveden do výčtu.

Tab. 5 - Spotřeba jednotlivých součástek

Druh napájecího napětí	Název součástky	Proudový odběr [mA]	Skupiny součástek [mA]
3,3 V	MCU SAM4E16C	19,15	93,65
	LTM 2881	30	
	EEPROM 24AA1025	0,5	
	KSZ 8081 MNX	34	
	LM 324	2	
	AM26LV32	8	
5 V	Display RC1602B5 Core	1,5	264,5
	Display RC1602B5 LCD	50	
	Enkodery 3x	180	
	Drivery motorů 3x	15	
	LM 35	2	
	FT232RL	15	
	74HC04 invertor	1	
24 V	Indukční senzory 3x	39	5489
	Motory 3x	5310	
	Fan 24V	140	

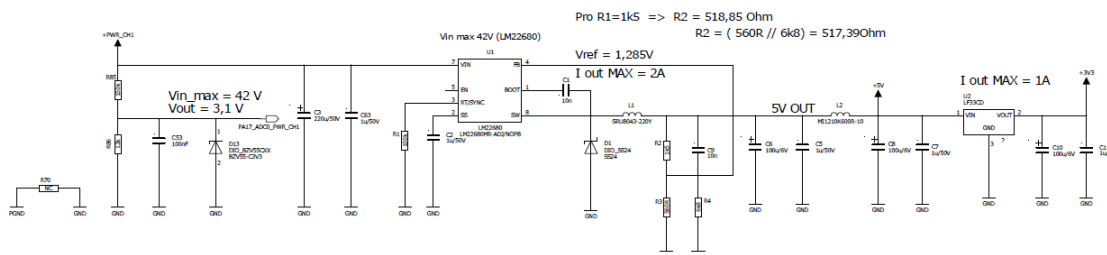
Z těchto údajů lze přehledně vytvořit diagram napájení, který přesně vyjadřuje odběry z jednotlivých zdrojů, i to, jak jsou fyzicky řazeny za sebe. Tedy princip, že každé vyšší napájení ve svém údaji o odběru obsahuje odběr z nižšího zdroje. Obr. 31 vystihuje skutečné odběry ze zdrojů. Celkový odběr z 24 V zdroje činí necelých 6 A.



Obr. 31 - Přehled odběrů a druhů napájení

Vzhledem k výše uvedenému obrázku byl zvolen napájecí zdroj *SP-240-24* od společnosti MeanWell. Zdroj je napájen ze síťového napětí 230 V. Jeho výstup je 24 V a je schopen dodat proud do zátěže až 10 A, což je i s rezervou dostatečné.

Těchto 24 V je přivedeno na DPS a zapojeno do budičů motorů a také sníženo na napájecí úroveň pro logické členy DPS. Napájení je na vstupu do obvodu filtrováno kondenzátory. Za měniči napětí jsou implementovány opět filtrační kondenzátory a proti proudovým špičkám cívky. Schéma zapojení snižujících měničů je možné vidět na obr. 32.



Obr. 32 - Schéma zapojení zdroje na DPS

U spínaného měniče, v tomto případě vytvářejícím 5 V úroveň, lze nastavit výstupní napětí poměrem rezistorů zpětné vazby, a to dle vztahu (4) [14] dostupného z katalogové dokumentace součástky.

$$R_1 = \left(\frac{U_{OUT}}{1,285 V} - 1 \right) \cdot R_2 \quad (4)$$

Hodnota odporu R_1 byla zvolena 1,5 k Ω . Ze vztahu (4) byl vyjádřen odpor R_2 a dopočítána je hodnota. Tato činila 518,85 Ω , čehož se docílilo paralelní kombinací odporů 560 Ω a 6,8 k Ω . Lineární stabilizátor 3,3 V napětí pro svou funkci nevyžaduje externí součástky a jeho výstupní napětí je pouze filtrováno kapacitami.

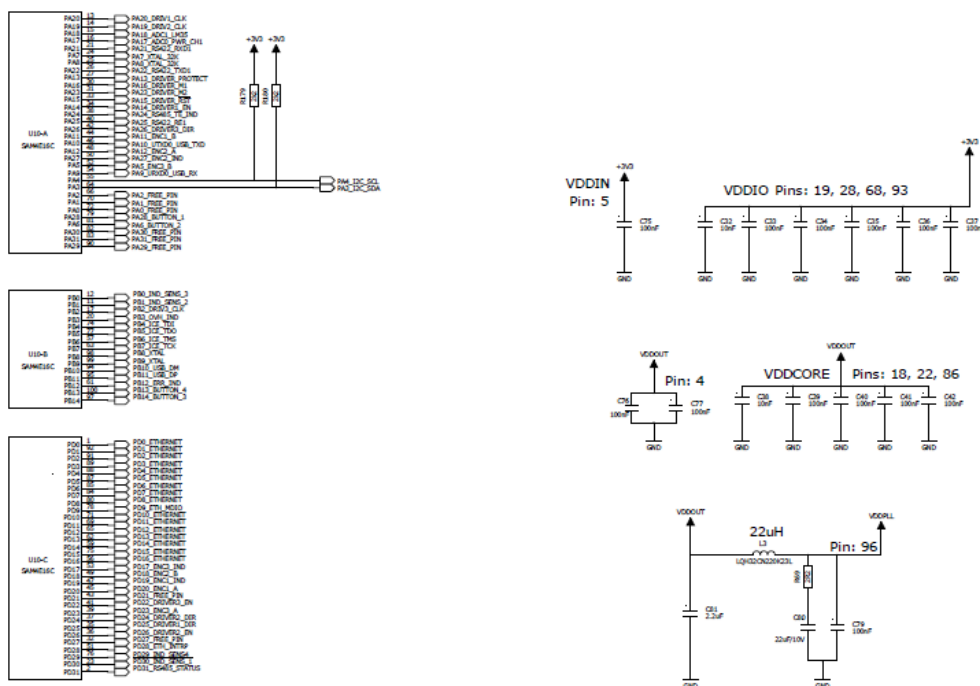
5.1.2 Využití výstupů a zapojení kontroleru

Zvolený kontroler *ATSAM4E16C* je možné pořídit ve dvou pouzdrech a s dvojnásobným počtem pinů. Po rozvržení všech pinů vyšlo najevo, že kontroler se sto vývody bude dostatečný. Před návrhem DPS byla ke každému pinu přiřazena požadovaná funkce, jak znázorňuje část tab. 6 níže. Tímto způsobem byla obsazena většina vývodů kontroleru, přičemž osm pinů zůstalo nevyužitých. Tyto jsou přivedeny na kolíkové vývody na DPS pro případné použití.

Tab. 6 - Ilustrace zapojení pinů kontroleru

Pin č.	Označení pinu	Zvolená funkce	Poznámky
1	PD0	Ethernet	
2	PD31	RS485 status	Výstup na identifikační LED k RS485
3	GND	Napájení/Zem	
4	VDDOUT	Napájení/Zem	Napájení vnitřních obvodů
5	VDDIN	Napájení/Zem	Vstup napájení
6	GND	Napájení/Zem	
7	GND	Napájení/Zem	
8	GND	Napájení/Zem	
9	ADVREF	ADC ref. Napětí	Vstup pro referenční napětí ADC
10	GND	Napájení/Zem	
11	PB1	IND. SENS. 2	Pin zkoumající výstup z indukčního senzoru
12	PB0	IND. SENS. 3	Pin zkoumající výstup z indukčního senzoru
13	PA20	DRIV1_CLK	Clock pro budič 1 (generátor krokového signálu)
14	PA19	DRIV2_CLK	Clock pro budič 2 (generátor krokového signálu)
15	PA18	ADC 1	Vstup analog-digitálního převodníku 1
16	PA17	ADC 0	Vstup analog-digitálního převodníku 0
17	PB2	DRIV3_CLK	Clock pro budič 3 (generátor krokového signálu)
18	VDDCORE	Napájení/Zem	Vstup napájení jádra kontroleru
19	VDDIO	Napájení/Zem	
20	PB3	Over heat indik	Indikace přehřátí do procesoru
21	PA21	UART	
22	VDDCORE		Vstup napájení jádra kontroleru
23	PD30	IND. SENS. 1	Pin zkoumající výstup z indukčního senzoru
24	PA7	XTAL 32K	
25	PA8	XTAL 32K	

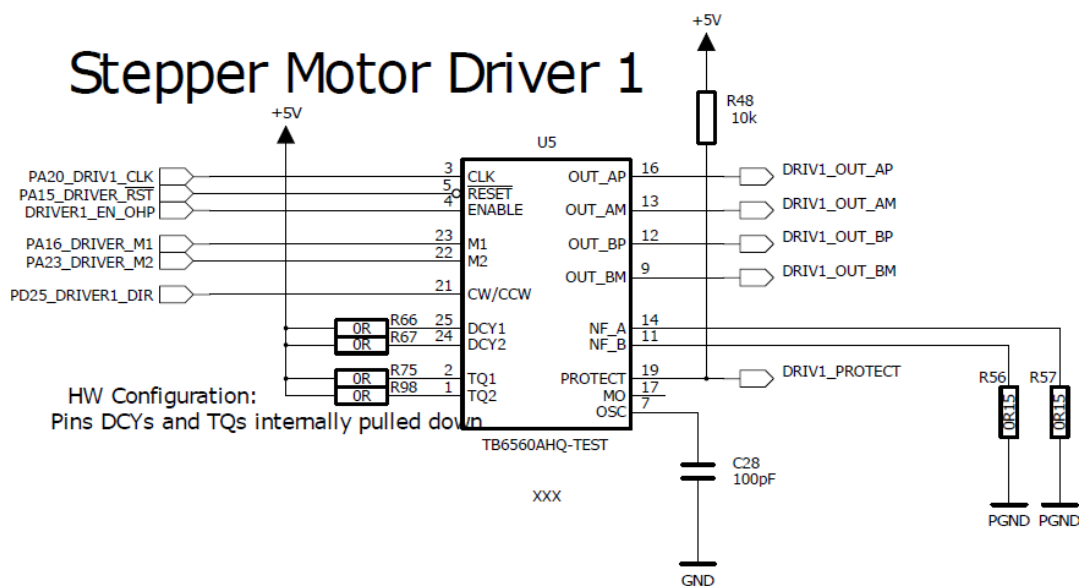
Napájení kontroleru bylo zapojeno dle katalogového doporučení [17]. Schéma zapojení napájení a označení vývodů lze vidět na obr. 33. Kromě signálových a napájecích vodičů je zde vidět dvojice „pull-up“ rezistorů, které jsou nezbytné pro funkci I²C linky. Velikost odporů je volena 2,2 kΩ dle katalogového zapojení linky pro správnou funkci EEPROM paměti [25].



Obr. 33 - Zapojení vývodů a napájení kontroleru

5.1.3 Zapojení budičů motorů

Zapojení součástek budičů motorů lze vidět na obr. 34. Nachází se zde stejné aktivační a ovládací signály, jako v případě externích modulů. Rozdílem je jejich opačná logická aktivační úroveň log. 1.



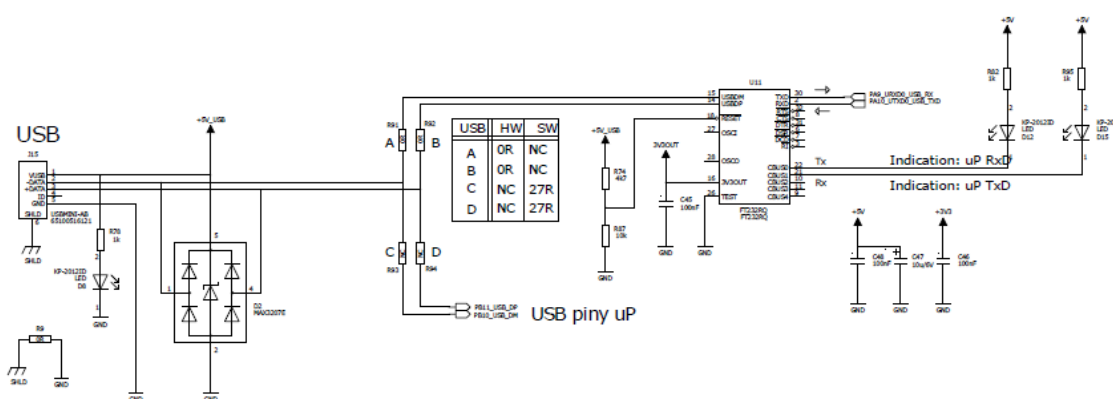
Obr. 34 - Zapojení budičů Toshiba

Kromě řídicích signálů *Enable*, *Clk* a *CW/CWW* (představující aktivační signál, signál pulzů a signál určující směr rotace motoru) je součástka schopna také řídit moment motorů a měnit střidu napětí. Tyto signály jsou vnitřně uzemněny přes tzv. *pull-down* rezistory. Pro případné změny je zde aplikována hardwarová možnost upravit toto nastavení. Pomocí signálů *M1* a *M2* lze nastavit mikrokrokování motoru.

Čtveřice výkonových výstupů poskytuje spojení s kabeláží motorů. Dalším signálem, který je využíván, je signál *Protect*. Signál je aktivní v log. 0 a indikuje přehřátí součástky nad výrobcem garantovanou mez. Tento signál je vyčítán kontrolérem pro případ vypsání chybové hlášky na displej. Zapojení na obr. 34 je shodné pro všechny tři součástky. Rozdíly v zapojení mezi budiči jsou pouze v pojmenování vodičů, aby bylo možné každý budič ovládat nezávisle.

5.1.4 Zapojení USB periferie

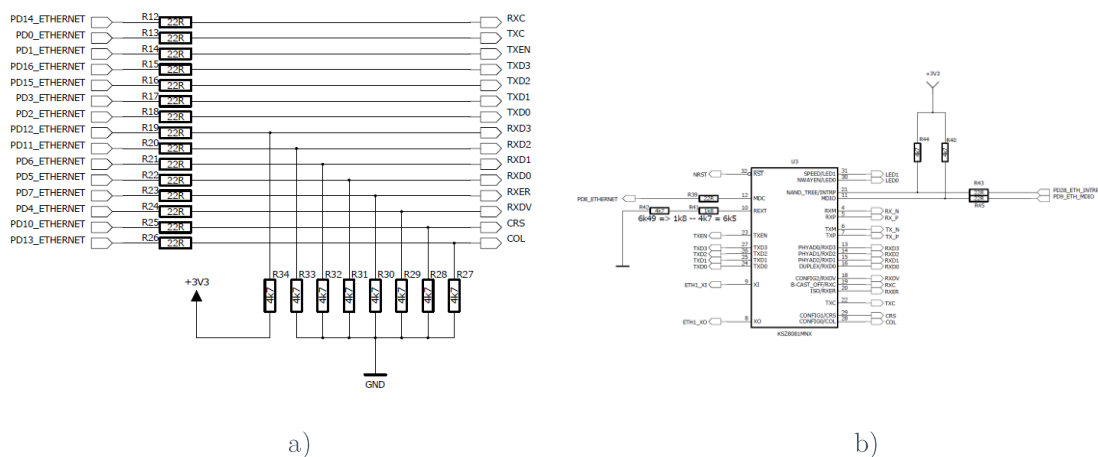
DPS je opatřena několika komunikačními periferiemi. Jednou z nich je USB. Na obr. 35 je možné vidět začlenění této periferie do návrhu. Signál z USB konektoru se rozdvojí a putuje v prvním případě na součástku *FT232RQ*, zapojenou dle doporučeného katalogového zapojení dostupného z [33], a také je přímo připojen na USB periferii kontroleru. Mezi jednotlivou alternativou lze přecházet pomocí osazení vhodné dvojice zkratovacích odporů nazvaných *A* až *D*. Jejich konfiguraci znázorňuje tabulka umístěná uvnitř schématu.



Obr. 35 - Zapojení USB periferie

5.1.5 Zapojení ethernet periferie

Při zapojení ethernet periferie bylo vycházeno z katalogového listu součástky kontroleru [17] i součástky *KSZ8081MNX* [21]. Realizaci propojení znázorňuje obr. 36.

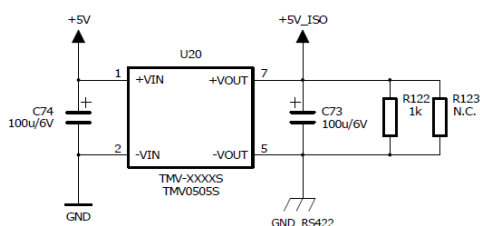


Obr. 36 - Zapojení Ethernet periferie: a) přizpůsobení vodičů, b) zapojení KSZ8081MNX

Signálové cesty jsou zatíženy sériovým odporem $22\ \Omega$ a k některým z vodičů jsou přidány „pull-up“ a „pull-down“ rezistory. Tyto signály vstupují do součástky *KSZ8081MNX* a z ní poté na konektor *RJ45*.

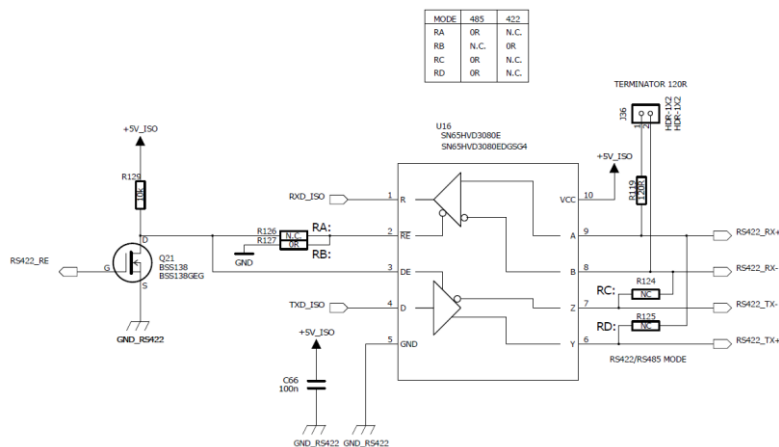
5.1.6 Zapojení RS485 periferie

Periferie je realizována použitím součástky *SN65HVD3080E*, která může sloužit jako převodník z UART na RS422 i RS485 linku. Rozdíly v zapojení přehledně znázorňuje obr. 38. Součástka a celý blok této komunikace je oddělen od napájení zbylé části desky. V návrhu je začleněn stejnosměrný izolační měnič. Jeho zapojení vystihuje obr. 37. Důvodem je snaha o separaci od okolních součástek a vytvoření vlastního bloku napájení a signálů. Na výstup izolovaného napětí je přidán filtrační kondenzátor a odpor $1\ \text{k}\Omega$ oddělující kladný a záporný výstup.

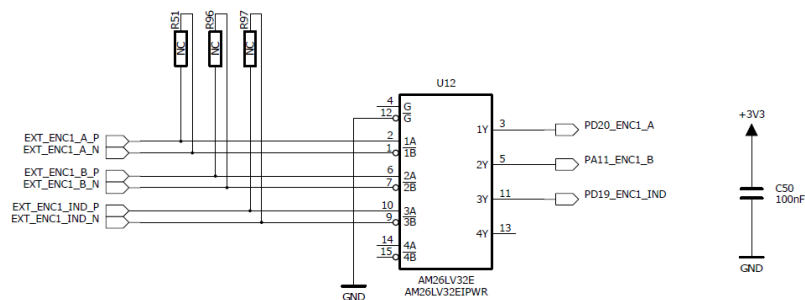


Obr. 37 - Zapojení izolačního SS měniče napětí

MODE	485	422
RA	OR	N.C.
RB	N.C.	OR
RC	OR	N.C.
RD	OR	N.C.



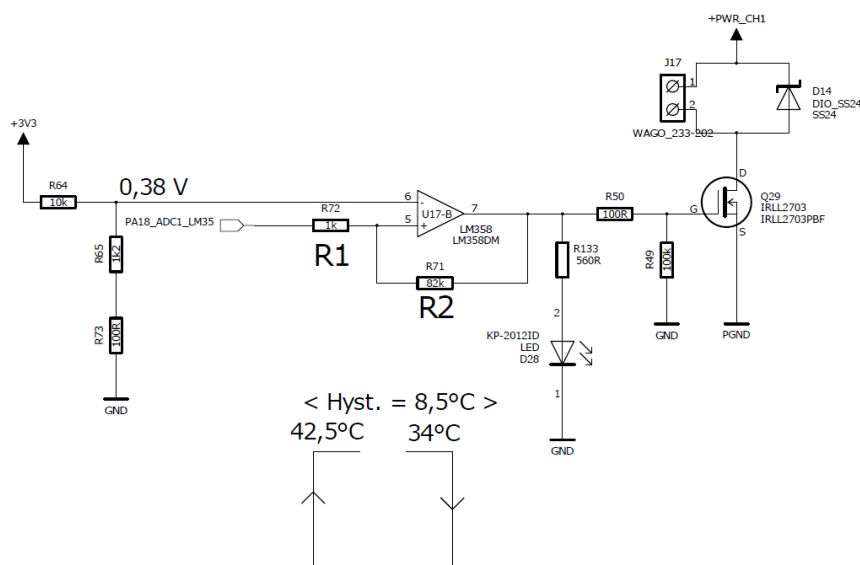
Signály z enkodérů jsou do DPS přivedeny pomocí linky RS422. Zapojení na straně DPS znázorňuje obr. 39. Jedná se o součástku přijímače, která z RS422 vedení vytváří signál pro kontroler. Přicházející vedení je opatřeno zakončovacími odpory.



Signály G jsou aktivačními signály přijímače. Napájení je filtrováno kondenzátorem 100 nF.

5.1.8 Realizace teplotní ochrany

Přítomnost výkonových součástek může způsobit zahřívání systému. Z tohoto důvodu je v návrhu začleněno hardwarové sledování teploty chladiče a součástek budičů motorů. Je využito teplotního čidla generujícího napětí vzhledem k výši teploty. Na teplotu reaguje dvojice operačních zesilovačů (OZ) zapojených jako komparátory napětí. Komparátory spínají ventilátor na chladiči a případně odpojí aktivační signály budičů. Obr. 40 znázorňuje zapojení prvního komparátoru spínajícího ventilátor. Teplotní mez sepnutí ventilátoru byla zvolena na 42,5 °C s hysterezí 8,5 °C. Teplota, při které se deaktivují budiče, byla zvolena na 76,5 °C se stejnou hysterezí.



Obr. 40 - Zapojení komparátoru s hysterezí teplotní ochrany

Operační zesilovač je zapojen jako neinvertující komparátor s hysterezí. Při výpočtu prahových napětí U_{P+} , U_P a hystereze H bylo vycházeno ze vztahů (5), (6) a (7), které byly převzaty z [35].

$$U_{P+} = U_R \frac{R_1 + R_2}{R_2} + U_S \frac{R_1}{R_2} \quad (5)$$

$$U_{P-} = U_R \frac{R_1 + R_2}{R_2} - U_S \frac{R_1}{R_2} \quad (6)$$

$$H = 2U_S \frac{R_1}{R_2} \quad (7)$$

Symboly U_{P+} a U_{P-} v rovnicích představují horní a dolní překlápěcí úroveň. Pokud na kladný vstup komparátoru přivedeme napětí shodné a vyšší, než je hodnota U_{P+} , dojde k překlopení výstupu komparátoru do oblasti kladné saturace. Toto napětí je označováno U_S a jeho hodnota je dle katalogového listu operačního zesilovače (dostupného z [28]) při napájení 5 V rovna 3,5 V. U_R reprezentuje hodnotu referenčního napětí na záporném vstupu komparátoru. Od tohoto napětí se odvíjí hodnota mezí, a to na obě strany vždy shodně o půl hystereze H . Napětí U_{P-} je hodnotou pro dolní překlápěcí úroveň, kdy dojde k překlopení výstupu komparátoru do záporné saturace (záporného napájecího napětí), která je zde rovna 0 V.

Odpor R_1 byl po několikerém předchozím počítání zvolen 1 k Ω . Z výše uvedených vztahů byl vyjádřen vzorec (8) pro výpočet odporu R_2 . Tento byl spočítán na hodnotu 82 k Ω .

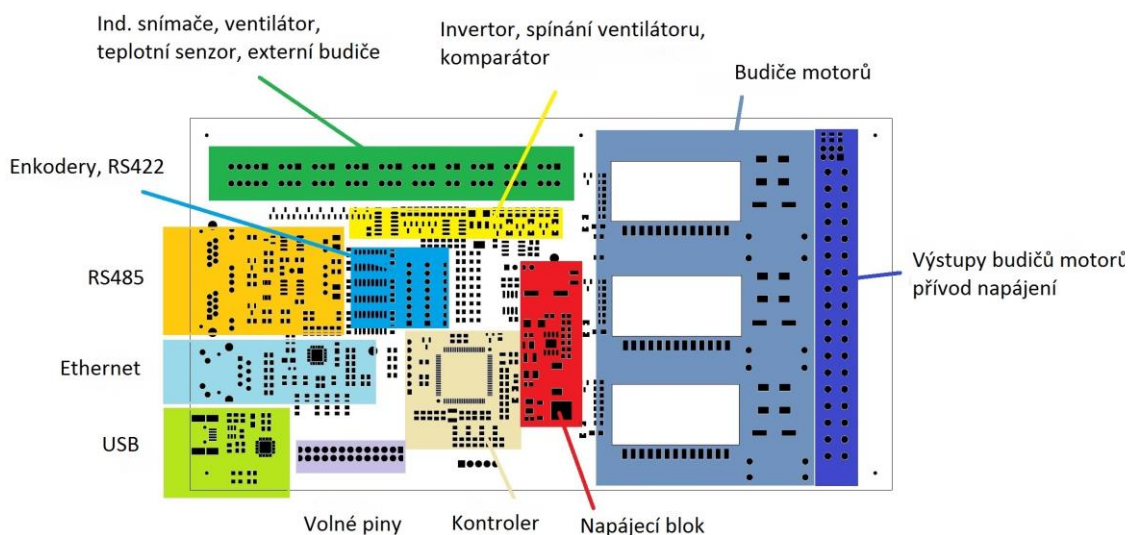
$$R_2 = \frac{U_R R_1 + U_S R_1}{U_{P+} - U_R} \quad (8)$$

Výstup komparátoru je připojen na hradlo unipolárního tranzistoru *Q29*, který otevřením kanálu sepne ventilátor. Na otevření tranzistoru je dle údajů výrobce dostupných z [36] nutné napětí alespoň 2,4 V. Byť není operační zesilovač v provedení „rail-to-rail“, jeho kladná saturační úroveň dosahuje 3,5 V. To i s rezervou dostačuje a lze toto zapojení použít. Ochrana proti vybíjení indukčnosti je realizována diodou *D14*.

Zapojení druhého komparátoru deaktivujícího budiče motorů je ve skrz stejné, jako zapojení na obr. 40. Rozdílem je jiná hodnota referenčního napětí U_R . Výstup z komparátoru je přiveden na hradlo unipolárního tranzistoru, který uzemní aktivační signály vedoucí do budičů. Zároveň je tento výstup vyčítán kontrolérem pro indikaci chybové hlášky. U obou výstupů komparátorů se nachází LED dioda, která svým rozsvícením signalizuje stav komparátoru.

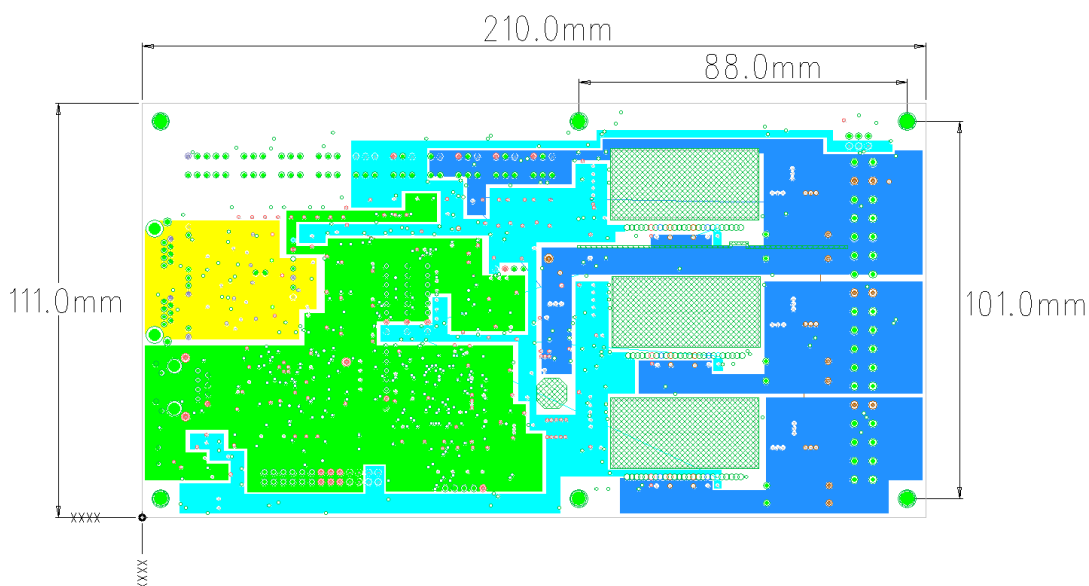
5.2 Layout DPS

Součástky byly seskupeny do funkčních bloků, které byly poté uspořádány na DPS. Záměrem bylo výkonovou část s budiči umístit na jednu stranu desky a oddělit ji od řídicích obvodů. Obr. 41 ukazuje rozdělení bloků na DPS.



Obr. 41 - Rozmístění bloků součástek na DPS

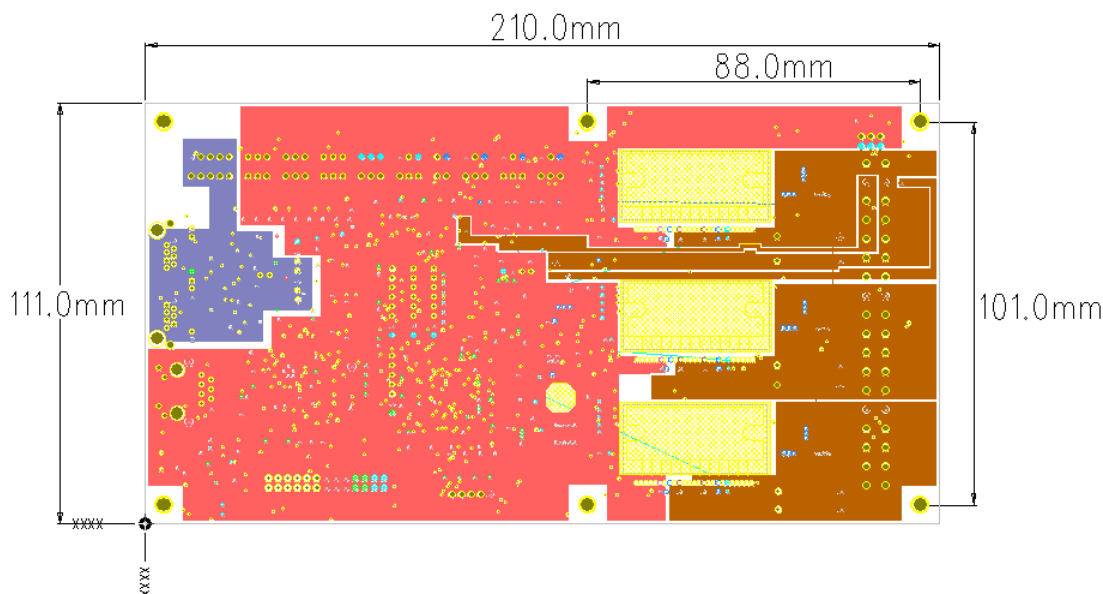
DPS je čtyřvrstvá. Ve vrstvě Top i Bottom se nachází vodiče. Součástky jsou osazeny pouze na vrstvě Top. Dvě vnitřní vrstvy jsou určeny pro plochy napájení a zemí. Podoba napájecí vrstvy společně s rozměry desky jsou vidět na obr. 42.



Obr. 42 - Podoba napájecích ploch ve vrstvě PWR

Zelenou barvou je v obrázku značeno napájení 3,3 V, světle modrá barva přísluší 5 V napájení. Tmavě modrá barva znázorňuje vstupní a výkonové napájení 24 V. Horní blok tohoto napájení slouží také jako přívod pro indukční senzory, ventilátor a ke snižujícímu měniči. Žlutě je vyznačeno izolované 5 V napájení RS485 periferie.

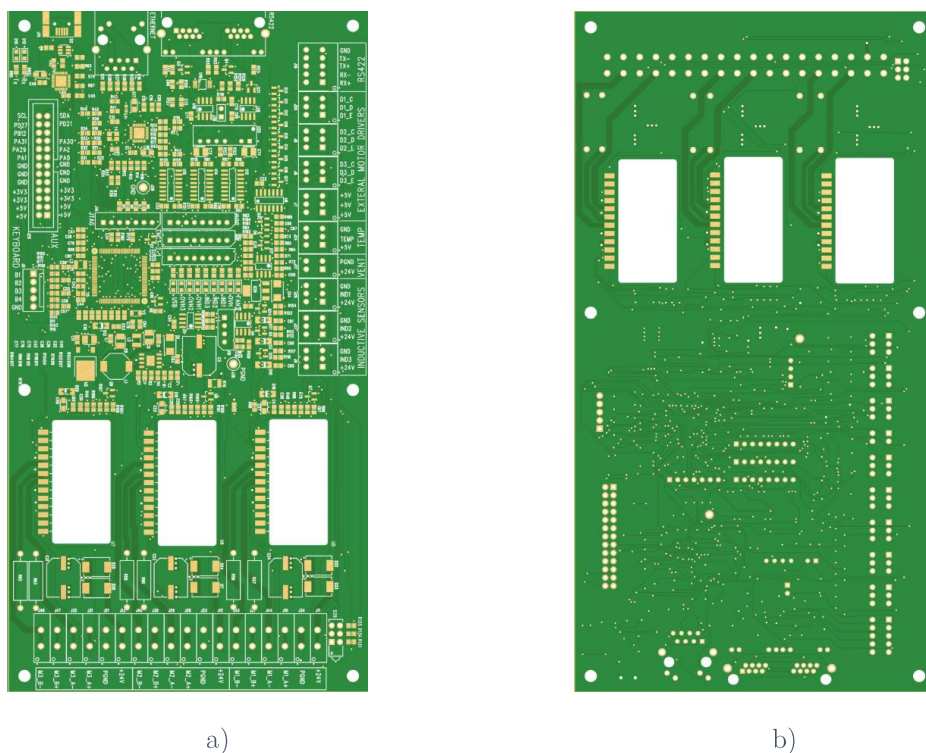
Podobným způsobem byla vytvořena vrstva země, kterou je možné vidět na obr. 43. Zde červená barva znázorňuje zemi logických obvodů. Hnědá barva značí výkonovou zem. Tato je rozdělena opět pro každý budič zvlášť. Mezi „logickou“ a výkonovou zemí je zkratovací rezistor. Z tohoto rezistoru vede samostatný vodič ke svorkám vstupního napájení. Vlastním vodičem je opatřen i ventilátor. Důvodem je, aby proud tekoucí přes výkonové části neovlivňoval potenciál země v ostatních částech DPS. Fialovou barvou je na tomto obrázku znázorněna izolovaná země RS485. Ta vede až pod konektor WAGO v levé horní části obrázku. Signály konektoru jsou propojeny se signály vedoucími do dvojitého *RJ45* konektoru.



Obr. 43 - Podoba zemních ploch ve vrstvě GND

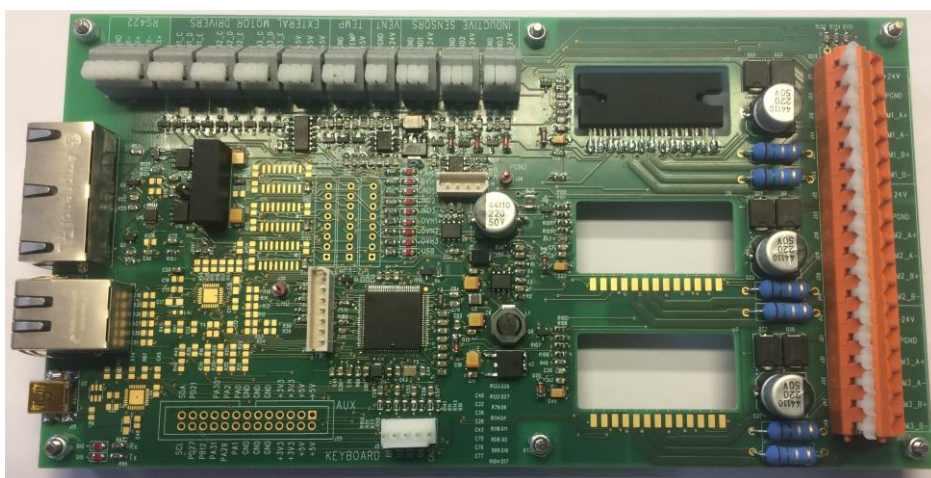
DPS je vyrobena v konstrukční třídě 5 s nejmenší šířkou vodiče 0,2 mm. Rozměry desky jsou 210x111 mm. Nachází se zde otvory pro umístění výkonových součástek budičů. Dále jsou na desce montážní otvory pro uchycení k rámu zařízení a pro přimontování chladiče zespod desky. Nepájivá maska má zelenou barvu a pájecí plochy jsou opatřeny povrchovou úpravou imersním zlatem. Potisk desky textem je proveden bílou barvou. Dle rozměrů se na jeden přířez vejdu celkem tři desky. Na následujícím obr. 44 lze zhlédnout podobu desky dle výrobních podkladů

společnosti Gatema. Obr. 44 a) ukazuje pohled na vrstvu Top se součástkami. Druhý obrázek b) ukazuje podobu spodní strany desky.



Obr. 44 - DPS a) pohled strany Top, b) pohled strany Bottom

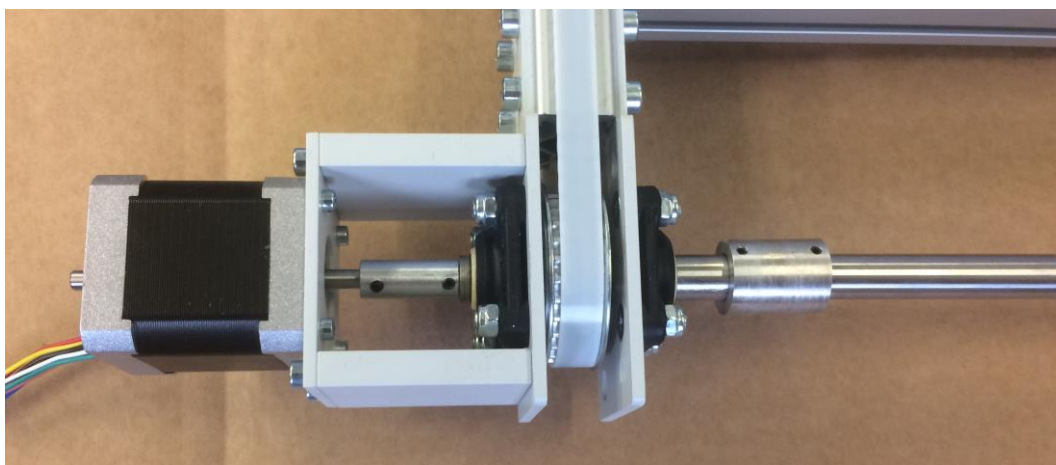
Osazenou desku je možné vidět na obr. 45. Na desce nejsou osazeny součástky ethernetového bloku a součástky patřící k USB periférii. To z toho důvodu, že pro testování funkce buzení motorů nejsou tyto periférie nezbytné. Ze stejného důvodu nejsou na DPS zapájeny všechny tři budiče motorů. Testy lze vykonat pouze na jednom motoru.



Obr. 45 - Osazená DPS

5.3 Realizace mechanické konstrukce

Realizace mechanické konstrukce spočívala v nařezání profilů na určitou velikost a vyvrtání otvorů na přichycení bočnic. Do děr v profilech se přišroubovaly vyrobené díly, které drží motory a řemenice. Na díly byla namontována třecí ložiska. Následně byly na profily umístěny „domečky“ motorů a motory samotné. Po montáži rámu byl na každou osu nastříhán řemen na požadovanou délku. Řemen lze po ustřižení vypnout posunutím koncových držáků řemenice směrem od středu zařízení ven. Uchycení motoru k rámu lze vidět na obr. 46. Na tomto obrázku lze také vidět spojení hřídele motoru se spojovací tyčí pomocí momentových spojek. Momentové spojky na obrázku neodpovídají vybraným *HUCO* spojkách, neboť v době pořízení snímku nebyly spojky ještě přítomné ve skladu. Proto byly na vysoustruženy vlastní duté válce s vnitřními průměry shodnými s průměry hřídelí a spojovacích tyčí. Do těchto válců byly vyvrtány otvory pro „červíky“, tedy malé šrouby M3, které zajistili neprokluzující spojení svou tyčí.



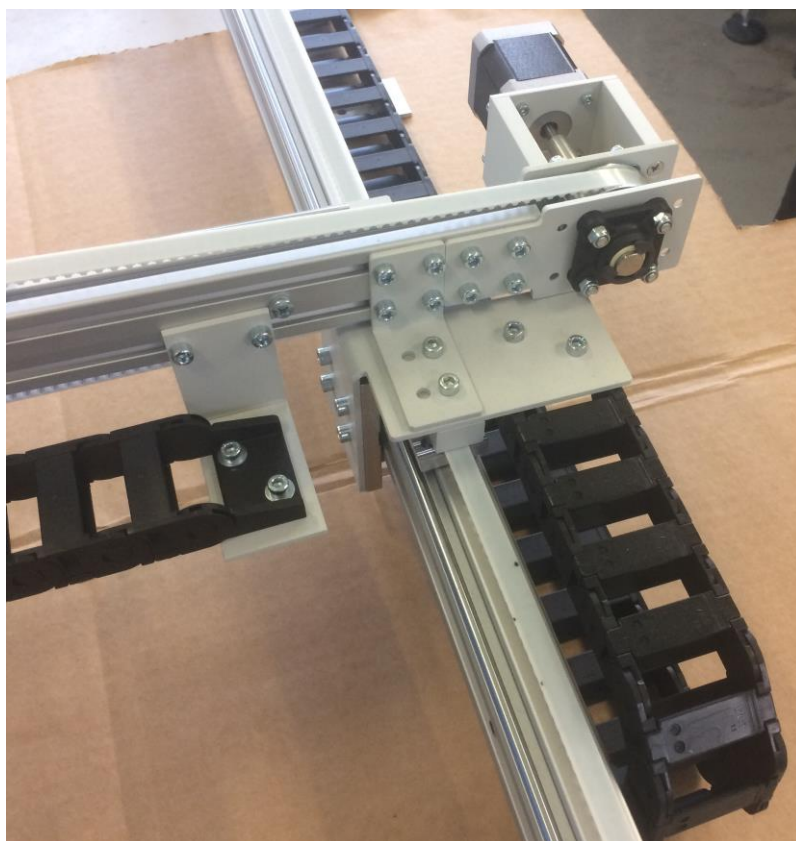
Obr. 46 - Realizace uchycení motoru k rámu

Na druhé straně profilu se nachází také řemenice, která je vidět na obr. 47. K řemenici není přiveden pohon, a plní tudíž pouze funkci napínání řemenu.



Obr. 47 - Realizace druhé řemenice

Řemen je poté přichycen na vozíky, které obepínají vodící ližiny. Toto uspořádání je vidět na obr. 48. Zde je na vozík přišroubován díl, který má v sobě otvory na uchycení nadstavců pro montáž druhého profilu osy y. Řemen a řemenice jsou zde přichyceny stejným způsobem, jakým tomu bylo u spodní osy. Pohon řemene je opět realizován krokovým motorem. V obrázku je také k zhlédnutí způsob uchycení energetických řetězů. Ty jsou pomocí úchytů ve tvaru „L“ přišroubovány k rámu a kopírují pohyb obou ramen.



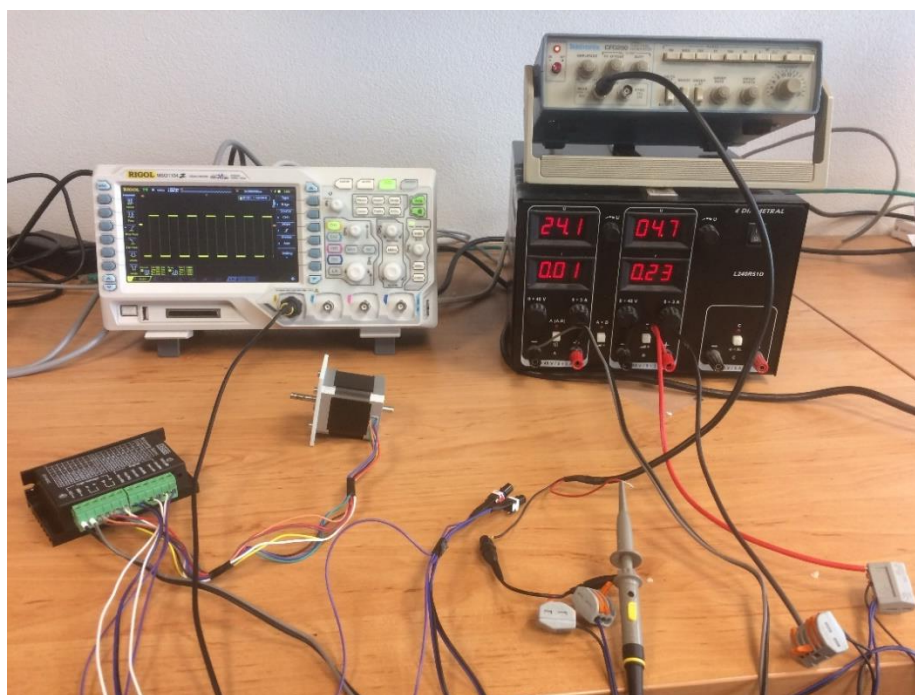
Obr. 48 - Uchycení druhého ramene

6 Testování zařízení

Testování zařízení probíhalo dvěma způsoby. Nejdříve byly motory zapojeny do externích budičů (modulů), které zjistily, zda se zařízení hýbe v pořádku a výkonově dostačuje na pohyb ramene se závažím. Následně byly motory buzeny pomocí řídicí DPS a jednoduchého programu.

6.1 Testování zařízení externími budiči

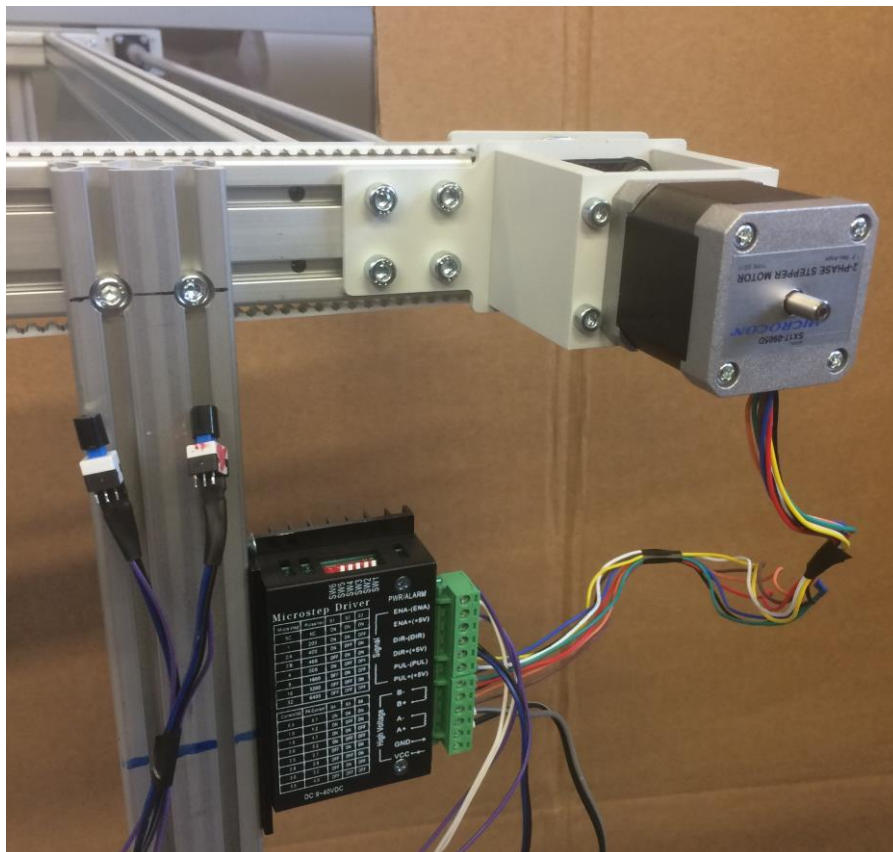
Na první testování bylo nutné použít zdroj, který má dva výstupy. Jeden, který napájí externí modul a druhý výstup, který poskytne dostatečné výstupní napětí a proud do vinutí motorů. Nastavení výstupu zdroje je vidět na obr. 49. Pro napájení budičů bylo nutné nastavit napětí 5 V. Motory byly napájeny 24 V napětím.



Obr. 49 - Zapojení externího modulu pro testování motorů

Společně se zdrojem napětí byl použit generátor pulzů. Na něm poté nastaven obdélkový průběh signálu. Vzhledem k charakteru vnitřního uspořádání byl nastaven také offset a to na 2,5 V s amplitudou 5 V_{P-P}. Zároveň byl výstup z generátoru sledován na osciloskopu, aby byly parametry nastaveny co nejpřesněji. Na obr. 49 se dále v levém dolním rohu nachází zmiňovaný externí modul budiče, do jehož výstupů je zapojen motor.

Aby bylo možné obvod takto ovládat, byly pro testování vytvořeny propojky s vypínači. Tyto vypínače je možné vidět na obr. 50. Na obrázku je také vidět uchycení budiče přímo na rámu zařízení, kdy probíhalo testování funkce pohybu ramene. Vypínače sepnutím uzemní zápornou elektrodu optočlenu a tím aktivuje vnitřní obvod modulu budiče.



Obr. 50 - Uchycení externího modulu na rámu zařízení

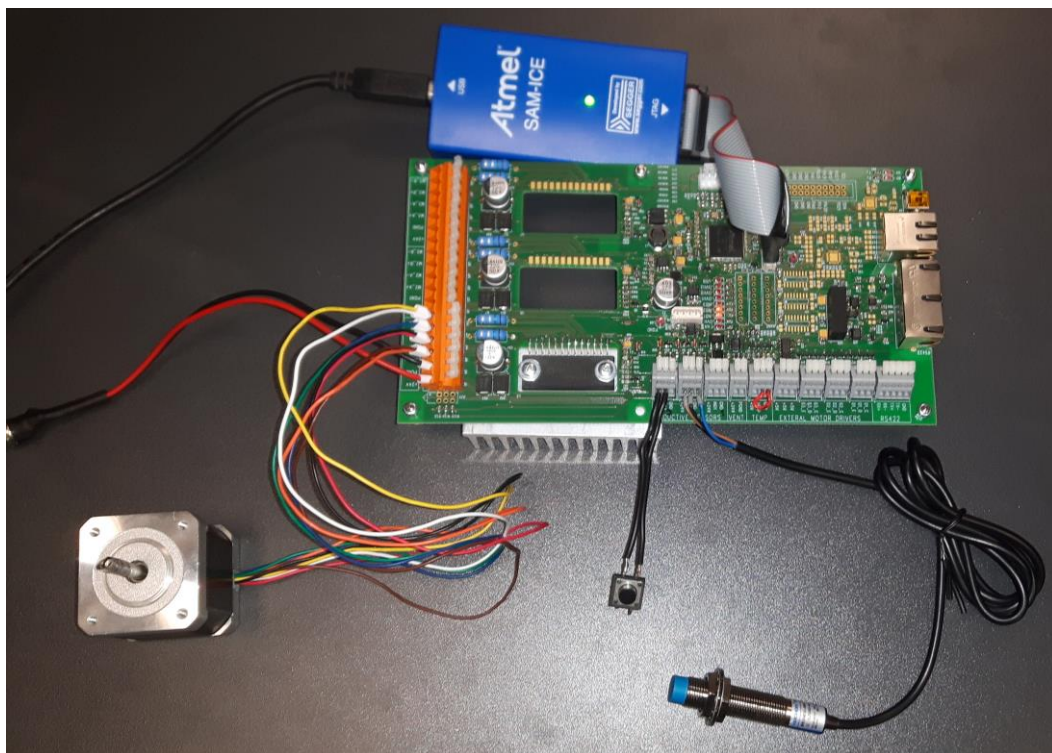
Z testování externími budiči vyšlo najevo, že se do řídicí logiky musí zakomponovat princip rozjezdů a dojezdů motorů. To z toho důvodu, že nelze motory ihned budit vysokou frekvencí, neboť jejich moment narůstal společně s otáčkami hřídele. Zároveň docházelo k efektu zaseknutí a vrčení motoru, pokud nebyl signál *enable* aktivován při nízké frekvenci.

Pro nízké úrovně kmitočtu (řádově stovky Hz) byl moment nízký a hřídel se dala zastavit rukou. Pro vysoké kmitočty (v řádech desítek kHz) byl moment o poznání vyšší a hřídel již nešlo zastavit pouhým třením mezi prsty.

Pokud se frekvence pulzů zvyšovala přiměřeně, šlo motor vybudit i signálem převyšujícím 100 kHz, což je sice pro tuto aplikaci zbytečné, ale v rámci testování je údaj o maximální použitelné frekvenci užitečný.

6.2 Testování zařízení řídicí DPS

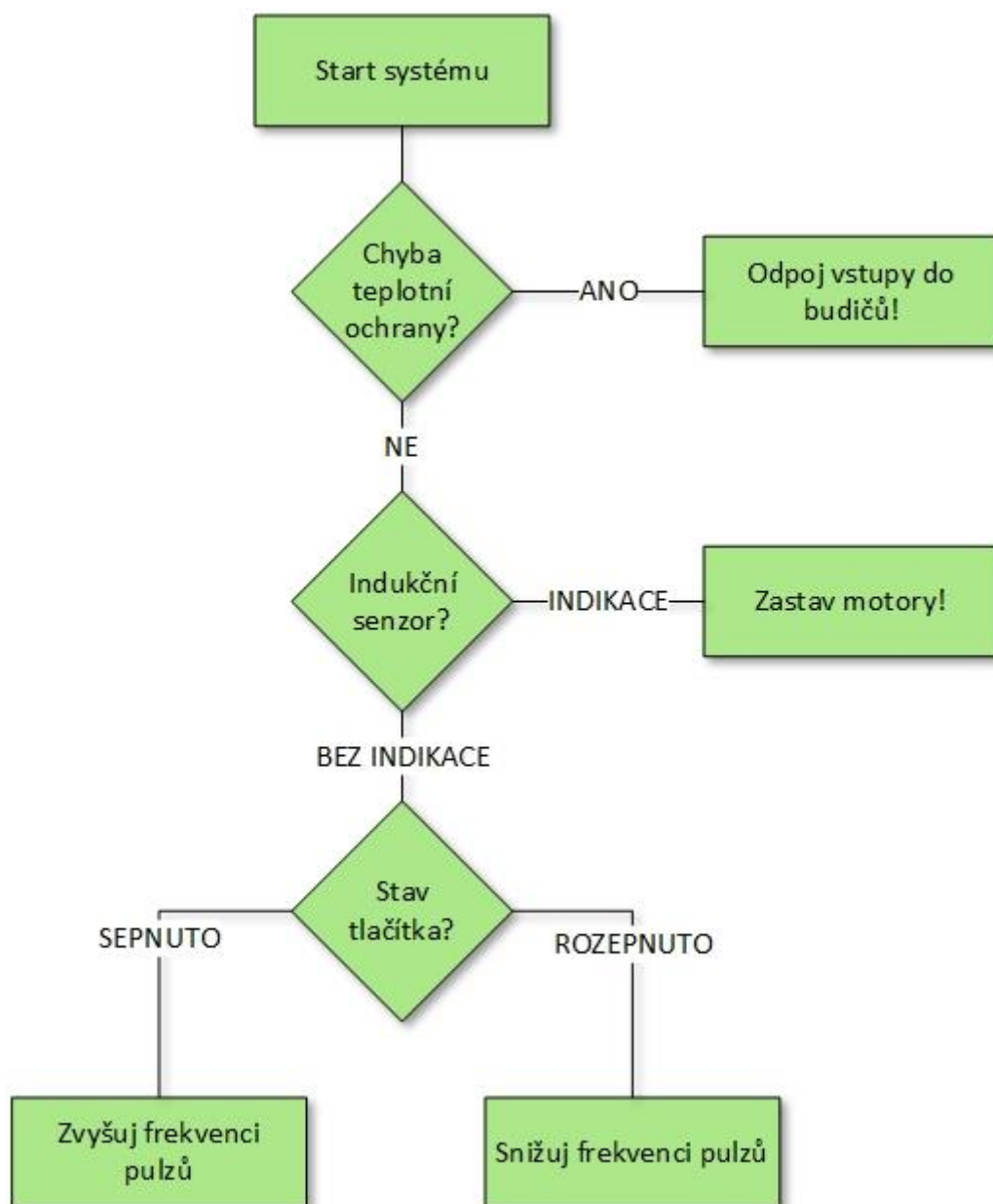
Další testování probíhalo s již osazenou a funkční DPS. Do kontroleru byl nahrán jednoduchý program, který zajistil roztočení motoru. Zapojení DPS pro zkoušky činnosti je vidět na obr. 51.



Obr. 51 - Testování řídicí DPS

Algoritmus programu poté vystihuje vývojový diagram na obr. 52. Kontroler ihned po startu systému reaguje na hodnoty teplotních ochran na součástkách budičů motorů. Při indikaci přehřátí budičů dojde k odpojení (i hardwarovému) aktivačních cest do budičů. Pokud je vše v pořádku, dalším zkoumaným prvkem je výstup indukčního senzoru. V případě, že má senzor na svém výstupu aktivní úroveň, vyhodnotí kontroler tento fakt jako referenční polohu a nebude budiče aktivovat. V opačném případě začne řídit motory. Motory začnou zvyšovat svoji rychlost, pokud je sepnuto tlačítko, ve druhém případě motor zpomaluje, až se úplně zastaví.

Tímto způsobem byla vyzkoušena funkčnost DPS a její schopnosti řízení motorů pomocí integrovaných budičů. Výstupy na externí moduly obsahují stejné vodiče, avšak opačnou logiku ovládání. Funkce těchto modulů byla také potvrzena a systém řízení motorů lze prohlásit za zcela funkční.



Obr. 52 - Vývojový diagram testovacího programu

7 Kalkulace ceny

Velmi důležitým faktorem je výše ceny. Pro přehlednost jsou v této kapitole uvedeny náklady na zařízení. Náklady se skládají z ceny elektronických součástek použitých při návrhu řídicí DPS a ceny mechanické konstrukce.

Vzhledem k cenám v tab. 7 je zřejmé, že nejnákladnějším prvkem je v tomto případě enkodér. Na trhu se nachází i krokové motory, které mají enkodér již při sobě. Jejich cena se ale velmi liší od ceny motoru a enkodéru zvlášť, a to více než desetinásobně. V realizaci tohoto systému se s enkodery nepočítá. Vzhledem k jejich pořizovací ceně byly ze zařízení vyjmuty, avšak DPS je navržena tak, aby v případě nutnosti mohly být enkodery použity.

Tab. 7 - Přehled cen elektronických komponent

Součástka	Název	Cena [Kč]	Množství [ks]	Celková cena [Kč]
Napájení 24V	SP-240-24	1200	1	1200
Stabilizátory napětí	(+5V) LM_22680	100	1	100
	(+3V3) LF_33CD	10	1	10
Kontroler	ATSAM4E16C	130	1	130
Krokový motor	SX17-0905D	300	3	900
Driver motoru - součástka	TB6560-AHQ	110	3	330
Driver motoru - externí	TB6560	260	0	0
Indukční senzor	F3C-18KS05-N R2M	80	3	240
Enkoder	E2 Optical Kit Encoder	1000	0	0
Modul RS 422/485	LTM-2881	320	1	320
Modul USB	FT-232RL	100	1	100
Paměť EEPROM	24AA1025	100	1	100
Displej	RC1602B5-LLH-JWV	130	1	130
Modul Ethernet	KSZ8081MNX-RNB	30	1	30
Teplotní senzor	LM35	30	1	30
Komparátor	LM324	15	1	15
Větrák	libovolný 24V	200	1	200
Invertor	74HC04	8	1	8
Celkem				3843

V tab. 8 jsou uvedeny ceny za jednotlivé části mechanické konstrukce. Je zřejmé, že nejnákladnějšími položkami jsou kolejnice a vozíky. Tyto byly však vybrány jako nejlevnější, aby se snížila celková cena zařízení.

Tab. 8 - Přehled cen mechanické konstrukce

Součástka	Cena [Kč]	Množství [ks]	Celková cena [Kč]
Profil 40x20	225	7,8	1755
Kolejnice 6	1300	2,5	3250
Vozík 6	1200	3	3600
Řemen	125	24	3000
Řemenice	150	6	900
Spojovací tyč	330	1	330
Energetický řetěz	1000	1	1000
Energetický řetěz	750	1	750
Momentová spojka	500	4	2000
Napínák řemene	50	2	100
Úchyt řemene	65	6	390
Ložisko	245	12	2940
Vlastní díly	4300	x	4300
Spojovací materiál	1000	1	1000
Celkem			25315

Z tabulek 7 a 8 lze získat celkovou cenu za materiál potřebný k realizaci tohoto systému. Cena činí bezmála 30 tis. korun. Aby byla vyjádřena kompletní cena za zařízení, musely by se do celkových nákladů na výrobu započítat náklady na dodání materiálu a jeho zpracování. Další položkou, která je v ceně zařízení zahrnuta, jsou náklady na návrh zařízení. Podstatnou část nákladů by tvořili také režijní náklady společnosti. Do nákladů také spadá cena za vytvoření výrobních podkladů k výrobě DPS a její samotná výroba. Tato položka je podstatná při prototypní výrobě. Při množstevní výrobě je výdaj na vytvoření výrobních podkladů na DPS jednorázovou sumou. Cena za výrobu této DPS při počtu třech kusů na přířez činila 5 tisíc korun.

8 Možné rozšíření funkcí systému

Zařízení pospané v této práci splňuje všechny zadané požadavky na funkci. Při jeho návrhu však bylo bráno v potaz i to, že by se dalo v budoucnu rozšířit. Základními možnostmi rozšíření jsou:

- rozšíření o osu z,
- komunikace přes Ethernet,
- komunikace přes USB,

8.1 Rozšíření os zařízení

Zařízení je navrženo tak, aby bylo schopné vykonávat pohyby v osách x a y . Dalším rozšířením aplikace by mohlo být přidání další osy, a to osy z . Tím by bylo umožněno uchycené kameře se dostat přímo nad květinu a z libovolné blízkosti pořídit snímek. V návrhu řídicí elektroniky je tato možnost uvažována. Kontroler má vyčleněny piny pro ovládání třetího budiče motoru. Celá řídicí DPS je navržena na tříosý systém přidáním a propojením třetího budiče.

Zařízení je navrženo na možnost použití i více řídicích DPS zařazených za sebou. Tuto skutečnost lze realizovat softwarovým indexováním jednotlivých DPS a ovládat tak i víceosé systémy.

8.2 Komunikace přes další rozhraní

V návrhu řídicí desky je také uvažováno rozšíření komunikace na Ethernet a USB. Primárně bude k řízení motorů, respektive ke komunikaci s nadřazeným systémem, využívána linka RS485. Ethernet je poté další z možností, kterou lze ke komunikaci a řízení využít.

USB komunikace je určena pro přenos dat mezi PC a systémem. Primárně se s tímto způsobem nepočítá, ale DPS je navržena tak, aby bylo možné přes USB rozhraní zařízením ovládat a vyčítat z něj data. Myšlenkou je využít USB periférii kontroleru a vyřadit tak z návrhu součástku *FT232RL*.

Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit prototyp zařízení robotického pojezdu kamerového skeneru pro monitorování růstu rostlin v růstových komorách řízený nadřazeným systémem. Vývoj prototypu a jeho výroba sestávala ze tří dílčích částí.

V první části bylo nutné navrhnout, vyrobit a smontovat mechanickou konstrukci, která nese měřicí kamery. Pro tyto účely byly nařezány profily a smontovány jednotlivé části v jeden celek. Na profily byly umístěny nosné ližiny, na kterých se nachází vozíky nesoucí pohyblivé rameno s kamerou. Kamerou je pohybováno pomocí vybraných krokových motorů a řemenů připevněných na nosný rám.

Druhá část spočívala v návrhu a realizaci řídicího systému, který ovládá pohyb motorů a komunikuje s nadřazeným systémem. Řídicí systém byl navržen na čtyřvrstvé desce plošných spojů. Dvě její vnitřní vrstvy jsou určeny pro napájení jednotlivých bloků a součástek a pro jejich země. Na DPS se nachází integrované budiče motorů v podobě výkonových integrovaných obvodů. Na desce jsou montážní otvory pro uchycení k rámu zařízení a také jsou zde dva otvory určené pro uchycení chladiče, který je nezbytný pro spolehlivých chod výkonových budičů. Celý řídicí systém je opatřen vhodnými konektory pro přívodní kabeláž, především pro přívod kabeláže motorů. DPS byla navržena v souladu s požadavky na komunikační periferie shodné s nadřazeným systémem. V návrhu se také počítá s rozšířením funkcí v podobě zavedení zpětné vazby enkodery a dalšího způsobu komunikace.

V poslední části návrhu a výroby prototypu bylo prováděno testování zařízení. Vzhledem k provedení zařízení bylo možné systém testovat dvojím způsobem. V prvním případě proběhlo testování pomocí externích modulů připojených na zdroj napájení a generátor pulzů. Z tohoto měření se došlo k poznatkům, jakým způsobem lze motory budit a jak na toto buzení reagují. Druhé měření poté bylo bližší k reálné funkci zařízení, a to při použití řídicí DPS s jednoduchým algoritmem rozjezdů a dojezdů zařízení. V tomto případě byl program vybaven i snímáním indukčního senzoru indikujícího přiblížení kovového předmětu, na které zařízení reagovalo ve smyslu detekce referenční polohy.

V práci je uveden přibližný součet nákladů na zařízení, přičemž zde nejsou započítány náklady na montáž, vývoj, dopravu materiálu a celkové režijní náklady společnosti. Celkové náklady na materiál potřebný k výrobě zařízení se společně s výrobou DPS pohybují okolo částky 35 000,- Kč.

Navržený prototyp se podařilo vyrobit bez obtíží a je plně funkční. Zařízení jsem nyní po zkouškách funkčnosti předal pracovníkům firmy, kteří mají za úkol zprovoznit veškeré komunikační periferie a implementovat komunikační protokol z nadřazeného systému. Dalším vývojem tohoto zařízení je využití periférií kontroleru a vyřazení stávajících převodníků komunikačních linek. Výhodou tohoto návrhu řízení robotického pojezdu je v možnosti řetězit za sebe jednotlivé DPS s využitím softwarového adresování desek, a tím vytvořit v podstatě libovolně náročný, několikaosý systém. Návrh také obsahuje možnost budit téměř libovolný krokový motor při použití externích modulů budičů motorů.

Během návrhu a realizace diplomové práce mi byla firmou PSI poskytnuta programová výbava na vytvoření modelu konstrukce rámu v programu SolidWorks. Při montování mi bylo vyhrazeno potřebné místo na zařízení a zapůjčeno nářadí. Při návrhu DPS jsem taktéž využíval poskytnuté licence programu PADS. Před samotnou realizací mechanické konstrukce byly ve firmě k dispozici pouze hliníkové profily a veškeré další díly bylo nutné objednat. Pro návrh DPS byly k dispozici některé elektronické součástky, které firma již dlouhodobě používá a ze kterých bylo možné vybírat. Ostatní komponenty bylo nutné objednat a vyzkoušet jejich funkci. Tyto součástky byly přidány do skladového portfolia společnosti a lze je využít na další výrobky. Elektrický i mechanický návrh jsem vytvořil samostatně, a to pod vedením Ing. Michala Diviše, kterému děkuji za cenné rady a vstřícný přístup. Samostatně jsem realizoval prototyp řídicí jednotky. Pracovníci firmy PSI mi pomáhali s montáží mechanických dílů a s oživením a testováním jednotlivých částí skeneru.

Seznam použité literatury

- [1] PSI, Photon Systems Instruments, spol. s r. o. Firemní prezentace. *PlantScreen Conveyor Systems*. 2015.
- [2] Stomisi. *Jak se řídí krokové motory*. [Online] [Citace: 25. 11 2016.] <http://www.stomisi.cz/jak-se-ridi-krokovye-motory>.
- [3] Robotika.cz. Krokové motory. [Online] [Citace: 20. 11 2016.] <http://robotika.cz/articles/steppers/cs>.
- [4] VALÍČEK, J., Bc. Diplomová práce. *Návrh a realizace zařízení pro měření síly v tahu u SMD*. [Online] 2013. [Citace: 2017. 4 3.] <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/25611/N%C3%81VRH%20A%20REALIZACE%20ZA%C5%98%C3%8DZEN%C3%8D%20PRO%20M%C4%9AC5%98EN%C3%8D%20S%C3%8DLY%20V%20TAHU%20U%20SMD.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [5] HW server, s.r.o. Automatizace.hw.cz. *Elektrické motory a jejich řízení*. [Online] [Citace: 25. 11 2016.] <http://automatizace.hw.cz/el-pohony-mereni-a-regulace/el-motory-a-jejich-rizeni-zakladni-prehled.html>.
- [6] Microcon. Krokové motory. [Online] [Citace: 28. 11 2016.] <http://www.krokovemotory.cz/>.
- [7] BĚLÍČEK, D., Bc. Diplomová práce. *Řízení krokového motoru mikrokontrolerem*. [Online] [Citace: 1. 12 2016.] https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15536.
- [8] Digi-Key, Electronics. Toshiba Semiconductor and Storage. [Online] [Citace: 2. 12 2016.] <http://www.digikey.com/product-detail/en/toshiba-semiconductor-and-storage/TB6560AHQ,8/TB6560AHQ8-ND/1730072>.
- [9] Toshiba. TA8435H/HQ PWM Chopper Type Bipolar Stepping Motor Driver. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] <http://www.dessy.ru/include/images/ware/pdf/EK229552.PDF>.

- [10] —. TB6560AHQ, TB6560AFG PWM Chopper Type bipolar Stepping Motor Driver IC. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.]
<http://www.kosmodrom.com.ua/data/cncstepdriver/TB6560AHQ.pdf>.
- [11] Bang, good. TB6600 Upgraded version. [Online] [Citace: 28. 11 2016.]
<http://www.banggood.com/TB6600-Upgraded-Version-32-Segments-4A-42V-5786-Stepper-Motor-Driver-p-981997.html?rmmds=category>.
- [12] Digital, US. E2 Optical Kit Encoder. [Online] [Citace: 1. 12 2016.]
<https://www.usdigital.com/products/e2>.
- [13] Omron. Indukční senzory. [Online] [Citace: 5. 12 2016.]
https://industrial.omron.cz/cs/products/e2b#specifications_ordering_info.
- [14] Texas Instruments. LM22680, Step-down Voltage Regulator. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm22680-q1.pdf>.
- [15] STMicroelectronics. LF33CDT. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.]
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22895/STMICROELECTRONICS/LF33CDT.html>.
- [16] Wikipedia. ARM Cortex-M. [Online] [Citace: 29. 11 2016.]
https://en.wikipedia.org/wiki/ARM_Cortex-M.
- [17] Atmel. Microcontrollers. *ATSAM4E16C*. [Online] [Citace: 29. 11 2016.]
<http://www.atmel.com/devices/ATSAM4E16C.aspx?tab=overview>.
- [18] Texas Instruments. DS26LS31C Quad High Speed Differential Line Driver. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.]
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ds26ls31c.pdf>.
- [19] —. AM26LV32E Low-Voltage High Speed Quadruple Differential Line Receiver. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.]
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/am26lv32e.pdf>.

- [20] —. SN65HVD3080E Low Power Full Duplex RS485 Driver/Receiver. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn65hvd3086e.pdf>.
- [21] Micrel. KSZ8081MNX Physical Layer Transceiver. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/KSZ8081MNX-RNB.pdf>.
- [22] Philips. P82B96 Dual Bidirectional Bus Buffer. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] http://www.nxp.com/documents/data_sheet/P82B96.pdf.
- [23] DealExtreme. Open-SMart I2C LCD 2004 . [Online] [Citace: 14. 5 2017.] http://www.dx.com/cs/p/open-smart-new-i2c-iic-lcd-2004-blue-display-module-for-arduino-443771?tc=CZK&gclid=CNj_hsGartMCFdIV0wodZxkCHQ#.WRht3IiLTI X.
- [24] Texas Instruments. PCF8574 Remote 8-Bit I/O Expander for I2C Bus. *Datasheet*. [Online]
- [25] STMicroelectronics. M24M01 1-Mbit serial I2C bus EEPROM. *Datasheet*. [Online] [Citace: 3. 12 2016.] <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/group0/cb/91/ba/7d/0b/c1/4d/f6/CD00147128/files/CD00147128.pdf/jcr:content/translations/en.CD00147128.pdf>.
- [26] Probots. LM35 Temperature Sensor with Analog Output. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] http://probots.co.in/index.php?main_page=product_info&products_id=115#.WRiXR4jyjIU.
- [27] National Semiconductor. LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] <http://www2.ece.ohio-state.edu/~passino/LM35.pdf>.

- [28] Texas Instruments. LMx58 Low Power Dual Operational Amplifiers. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm158-n.pdf>.
- [29] Newark. RJHSE-5381-02 Modular Connector RJ45. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] <http://www.newark.com/amphenol-commercial-products/rjhse-5381-02/cat5-rj45-modular-jack-8-position/dp/84K8175>.
- [30] Pulse. RJ45 1x1 Tab Down Pulse Jack. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] http://www.mouser.com/ds/2/336/pulse_J403-42506-464138.pdf.
- [31] SOSelectronic. WAGO 233-203. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] <https://www.soselectronic.cz/products/wago/233-203-41899>.
- [32] Matis. Industrial Components. *Webový katalog*. [Online] [Citace: 10. 11 2016.] <http://www.matis.cz/>.
- [33] FTDI. FT232R USB UART IC. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf.
- [34] Analog Devidec. ADUM1200/1201 Dual Channel Digital Isolator. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/ADuM1200_1201.pdf.
- [35] Samoweb. Komparátory s operačními zesilovači. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] <http://www.samoweb.wz.cz/elektronika/opzes3/opzes3.htm>.
- [36] International Rectifier. IRL2703 Power MOSFET. *Datasheet*. [Online] [Citace: 14. 5 2017.] <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irl2703.pdf>.

Seznam obrázků

Obr. 1 - Ukázka růstové komory společnosti PSI.....	11
Obr. 2 - Konstrukce rámu	12
Obr. 3 - Snímek z RGB měření [1]	13
Obr. 4 - Snímek z termálního měření [1]	14
Obr. 5 - Snímek fluorescenčního měření [1]	15
Obr. 6 - Snímek hyperspektrálního měření [1].....	15
Obr. 7 - Vnitřní struktura krokového motoru [5]	17
Obr. 8 - Krokové motory [6].....	18
Obr. 9 - Budič Toshiba TB6560AHQ [8].....	21
Obr. 10 - Externí modul budiče [11].....	23
Obr. 11 - Vnitřní obvod externího modulu.....	23
Obr. 12 - Průběh signálů pro ovládání modulu	23
Obr. 13 - Enkodér [12]	24
Obr. 14 - Průběhy signálových pulzů enkodéru [12].....	25
Obr. 15 - Indukční snímač [13]	26
Obr. 16 - Blokové schéma řídicí elektroniky.....	26
Obr. 17 – a) LCD displej 20x4, b) připojení I ² C modulu [23].....	31
Obr. 18 - Paměť EEPROM [25].....	32
Obr. 19 - Teplotní senzor LM35 [26]	33
Obr. 20 - Dvojité RJ45 konektor [29].....	34
Obr. 21 - WAGO konektory pro kabeláž [31].....	35
Obr. 22 - Hliníkový profil	36
Obr. 23 - Lineární vedení s vozíkem.....	37
Obr. 24 - Uchycení řemene k vozíku.....	38
Obr. 25 - Řemenice.....	38
Obr. 26 - Kluzné ložisko	39
Obr. 27 - Spojovací tyč.....	39
Obr. 28 - Spojení tyčí pomocí momentové spojky	40
Obr. 29 - Energetický řetěz.....	41
Obr. 30 - a) díl spojující vozík s řemenem, b) úchyt řemenice a motoru.....	41
Obr. 31 - Přehled odběrů a druhů napájení.....	44

Obr. 32 - Schéma zapojení zdroje na DPS.....	45
Obr. 33 - Zapojení vývodů a napájení kontroleru.....	47
Obr. 34 - Zapojení budičů Toshiba.....	47
Obr. 35 - Zapojení USB periferie	48
Obr. 36 - Zapojení Ethernet periferie: a) přizpůsobení vodičů, b) zapojení KSZ8081MNX.....	49
Obr. 37 - Zapojení izolačního SS měniče napětí.....	49
Obr. 38 - Zapojení součástky RS485 periferie.....	50
Obr. 39 - Zapojení součástky RS422 a přívodů z enkodérů.....	50
Obr. 40 - Zapojení komparátoru s hysterezí teplotní ochrany.....	51
Obr. 41 - Rozmístění bloků součástek na DPS.....	53
Obr. 42 - Podoba napájecích ploch ve vrstvě PWR.....	53
Obr. 43 - Podoba zemnicích ploch ve vrstvě GND.....	54
Obr. 44 - DPS a) pohled strany Top, b) pohled strany Bottom	55
Obr. 45 - Osazená DPS.....	55
Obr. 46 - Realizace uchycení motoru k rámu.....	56
Obr. 47 - Realizace druhé řemenice	57
Obr. 48 - Uchycení druhého ramene	57
Obr. 49 - Zapojení externího modulu pro testování motorů.....	58
Obr. 50 - Uchycení externího modulu na rámu zařízení.....	59
Obr. 51 - Testování řídicí DPS.....	60
Obr. 52 - Vývojový diagram testovacího programu	61

Seznam tabulek

Tab. 1 - Konfigurace mikrokrokování.....	22
Tab. 2 - Konfigurace momentu.....	22
Tab. 3 - Výsledky hledání kontroleru.....	28
Tab. 4 - Spotřeba kontroleru.....	43
Tab. 5 - Spotřeba jednotlivých součástí.....	44
Tab. 6 - Ilustrace zapojení pinů kontroleru.....	46
Tab. 7 - Přehled cen elektronických komponent	62
Tab. 8 - Přehled cen mechanické konstrukce	63

Seznam příloh

A SCHÉMA ZAPOJENÍ DPS

- A.1 ZAPOJENÍ OBVODŮ ZDROJE
- A.2 ZAPOJENÍ KONTROLERU
- A.3 ZAPOJENÍ EEPROM PAMĚTI
- A.4 ZAPOJENÍ USB
- A.5 ZAPOJENÍ ETHERNETU
- A.6 ZAPOJENÍ PROGRAMOVACÍHO KONEKTORU JTAG
- A.7 ZAPOJENÍ RS485
- A.8 ZAPOJENÍ DISPLEJE A TLAČÍTEK
- A.9 ZAPOJENÍ INDUKČNÍCH SENZORŮ A VÝSTUPŮ NA MOTORY
- A.10 ZAPOJENÍ BUDIČŮ MOTORŮ A INVERTORU
- A.11 ZAPOJENÍ VÝSTUPU NA EXTERNÍ MODULY BUDIČŮ
- A.12 ZAPOJENÍ ENKODERŮ A RS422
- A.13 ZAPOJENÍ TEPLOTNÍ OCHRANY

B LAYOUT DPS

- B.1 VRSTVA TOP
- B.2 VNITŘNÍ VRSTVA GND
- B.3 VNITŘNÍ VRSTVA PWR
- B.4 OSAZOVACÍ LIST STRANY TOP
- B.5 OSAZOVACÍ LIST STRANY BOTTOM
- B.6 NÁHLED NA CELOU DPS

C SEZNAM SOUČÁSTEK

D ROZMĚRY KONSTRUKCE

E DVD

A SCHÉMA ZAPOJENÍ DPS

6

5

4

3

2

1

REVISION RECORD			
LTR	ECO NO:	APPROVED:	DATE:

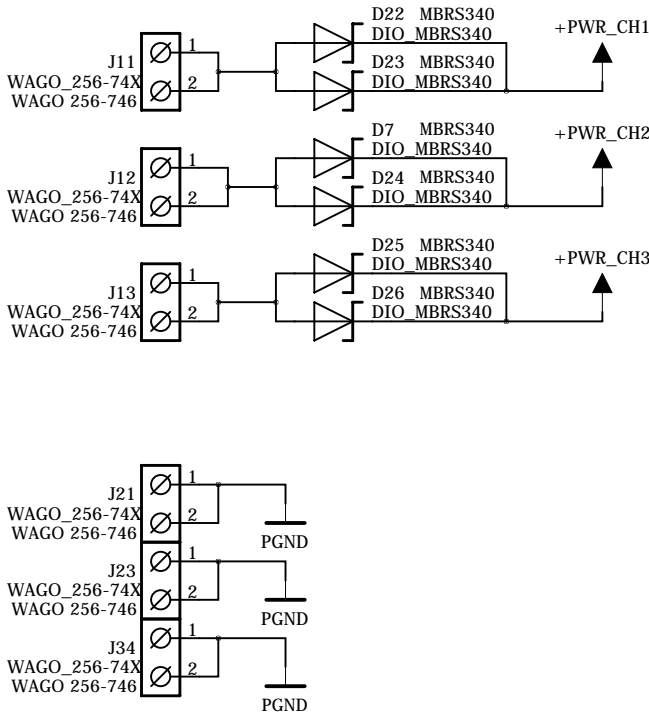
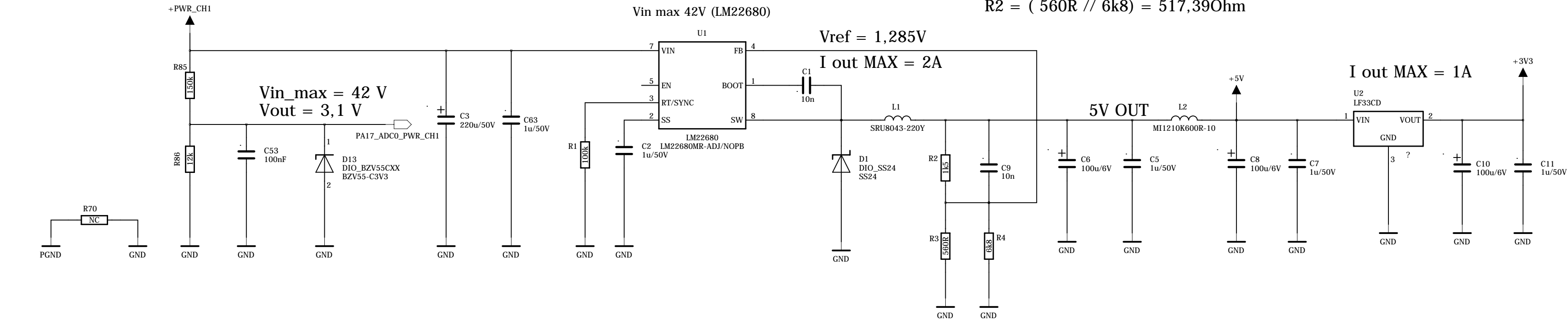
CALCULATION:

$R1 = (Vout/1,285) - 1) * R2$

$R1 = (5/1,285) - 1) * R2 = 2,891 * R2$

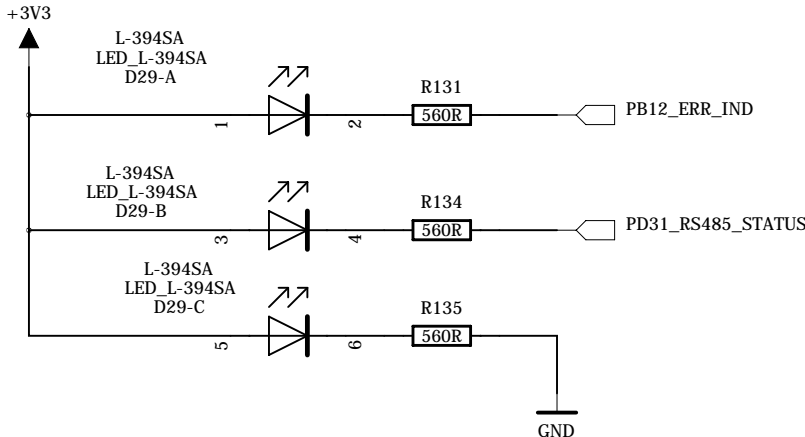
Pro $R1=1k5 \Rightarrow R2 = 518,85 \text{ Ohm}$

$R2 = (560R // 6k8) = 517,390hm$



Ěervená
Žlutá
Zelená

Indik LEDs



COMPANY: PSI s.r.o.

TITLE: Automatic scanner

DRAWN: Bc. Zapletal	DATED: 3_2017
CHECKED: Ing. Diviš	DATED: 3_2017
QUALITY CONTROL:	DATED:
RELEASED:	DATED:

CODE:	SIZE:	DRAWING NO:	REV:
		A.1	1
SCALE:		SHEET: OF	

6

5

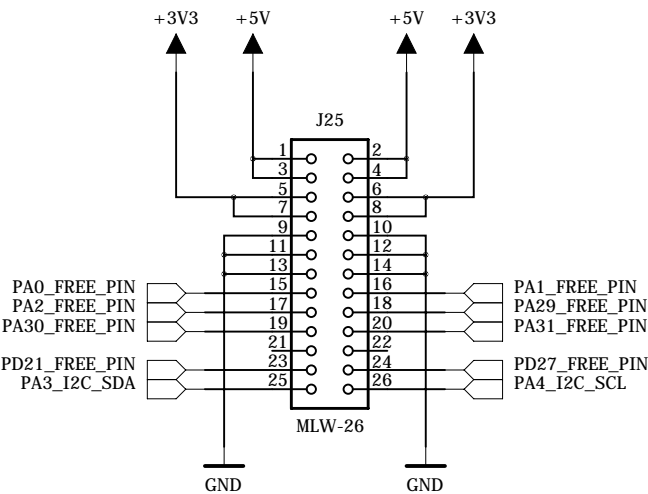
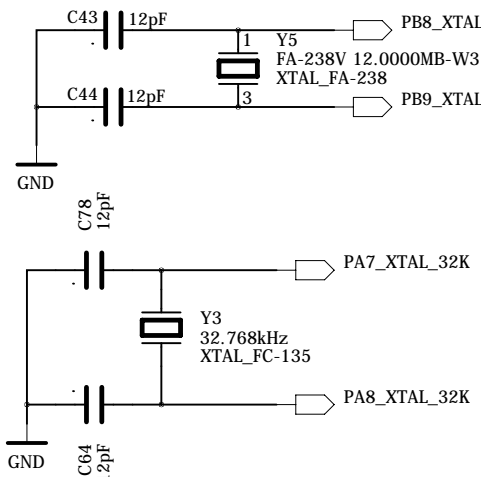
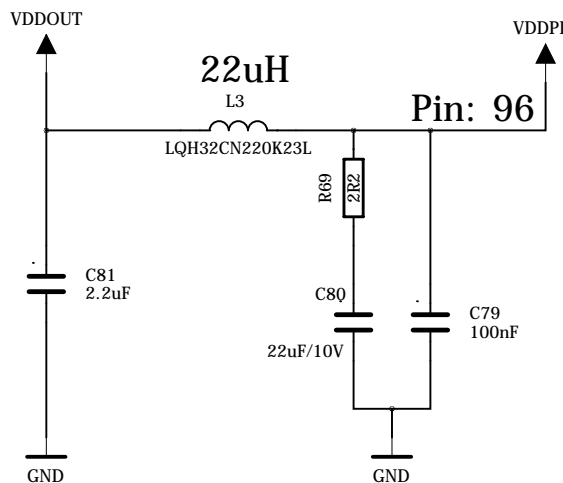
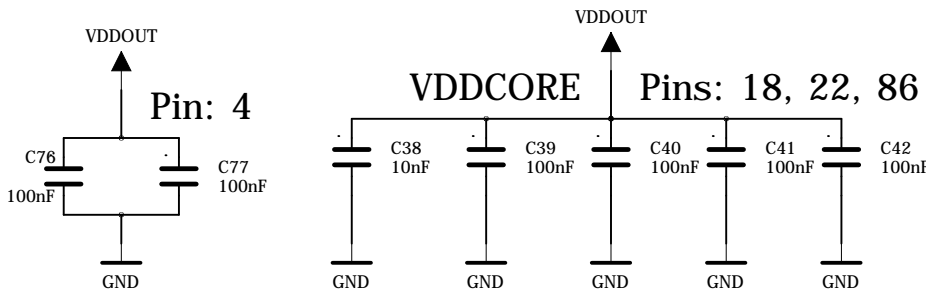
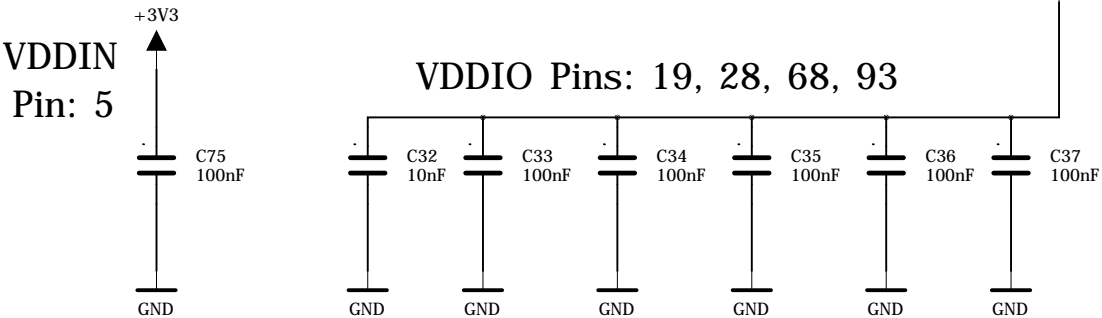
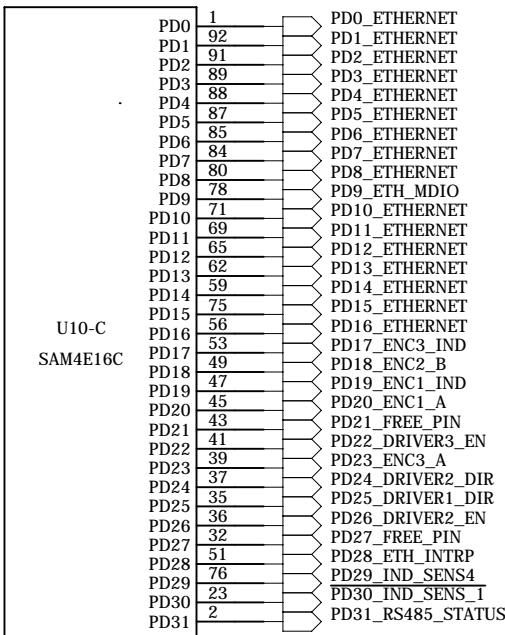
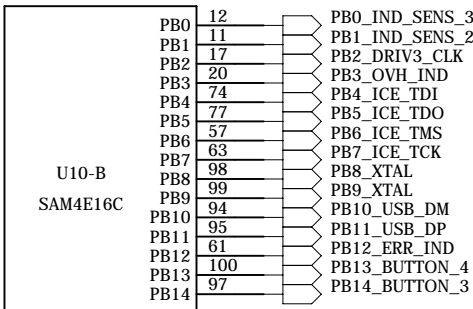
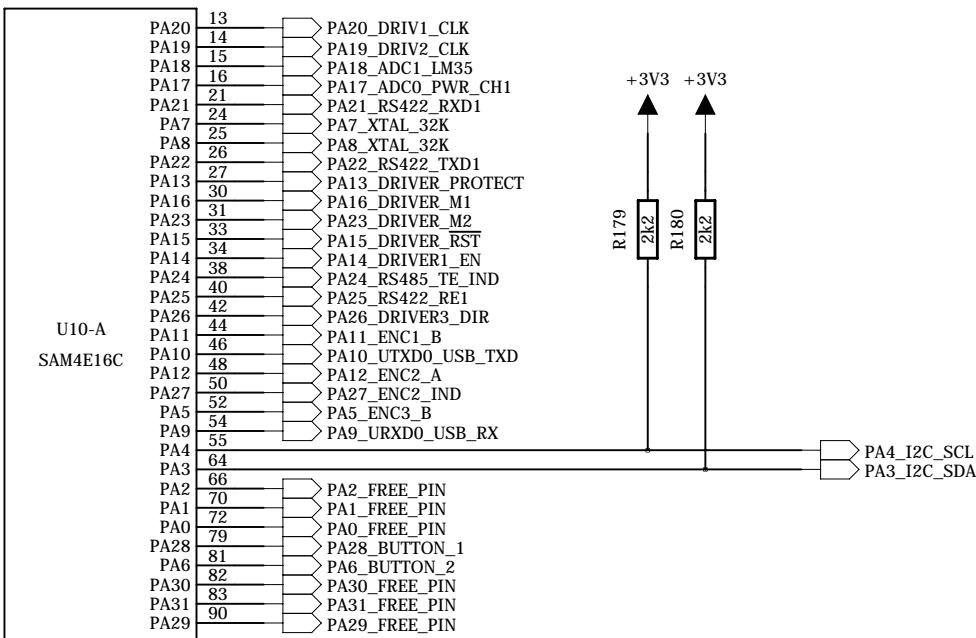
4

3

2

1

REVISION RECORD			
LTR	ECO NO:	APPROVED:	DATE:



of Free Pins: 8

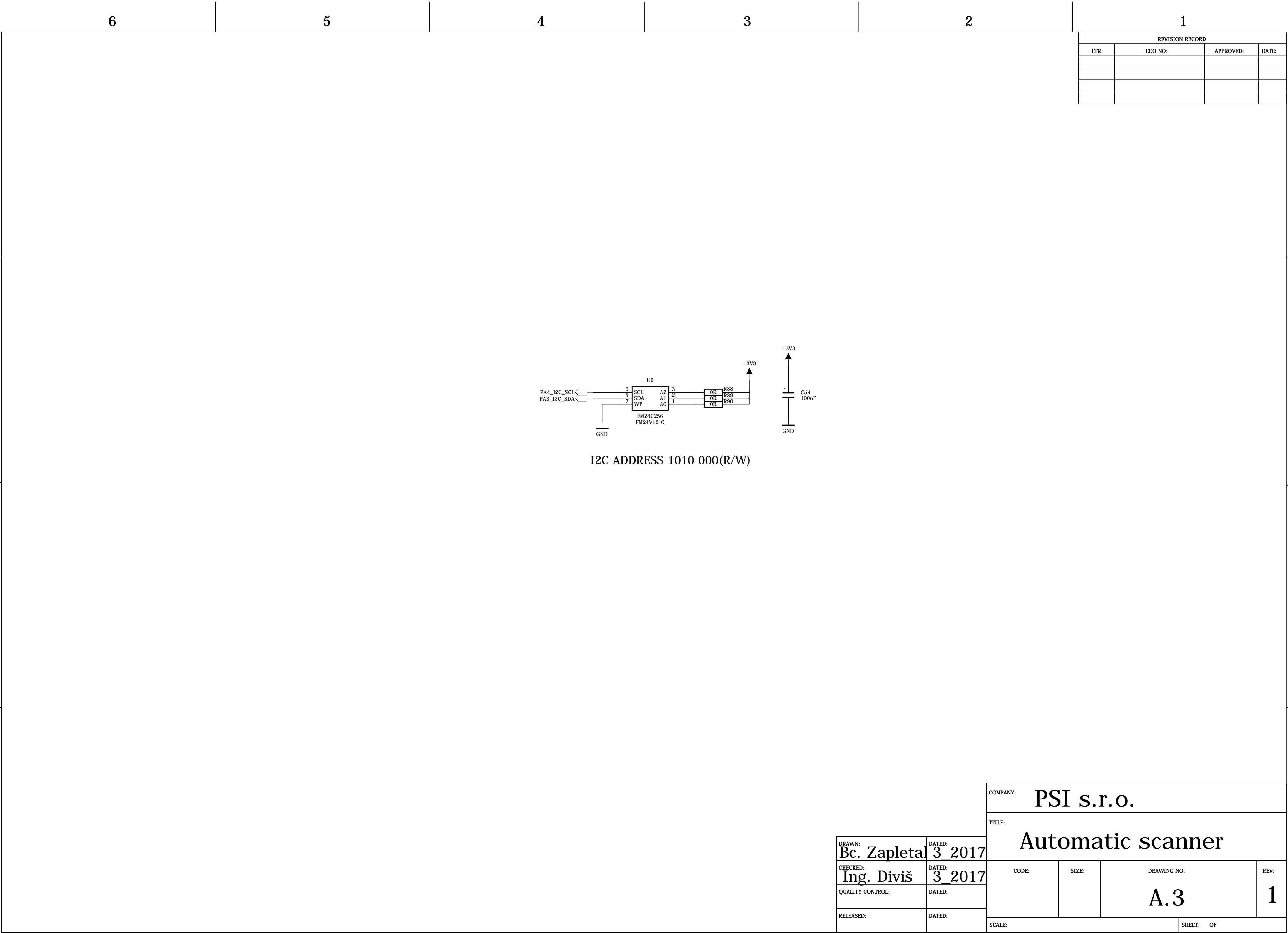
COMPANY: PSI s.r.o.

TITLE: Automatic scanner

CODE: SIZE: DRAWING NO: A.2 REV: 1

SCALE: SHEET: OF

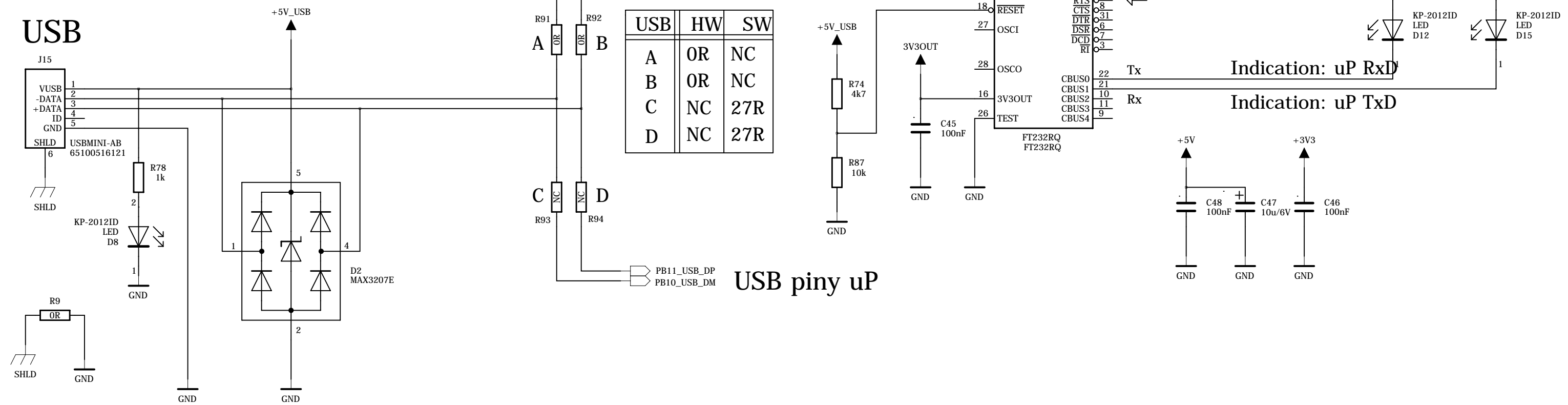
DRAWN: Bc. Zapletal	DATED: 3_2017
CHECKED: Ing. Diviš	DATED: 3_2017
QUALITY CONTROL:	DATED:
RELEASED:	DATED:



DRAWN: Bc. Zapletal		DATED: 3_2017		COMPANY: PSI s.r.o.			
CHECKED: Ing. Diviš		DATED: 3_2017		TITLE: Automatic scanner			
QUALITY CONTROL:		DATED:		CODE:	SIZE:	DRAWING NO: A.3	REV: 1
RELEASED:		DATED:		SCALE:			SHEET: OF

REVISION RECORD			
LTR	ECO NO:	APPROVED:	DATE:

USB



USB piny uP

COMPANY: **PSI s.r.o.**

TITLE:

Automatic scanner

DRAWN: Bc. Zapletal	DATED: 3_2017
CHECKED: Ing. Diviš	DATED: 3_2017
QUALITY CONTROL:	DATED:
RELEASED:	DATED:

CODE:	SIZE:	DRAWING NO: A.4	REV: 1
E:		SHEET: OF	

6

5

4

3

2

1

REVISION RECORD			
LTR	ECO NO:	APPROVED:	DATE:

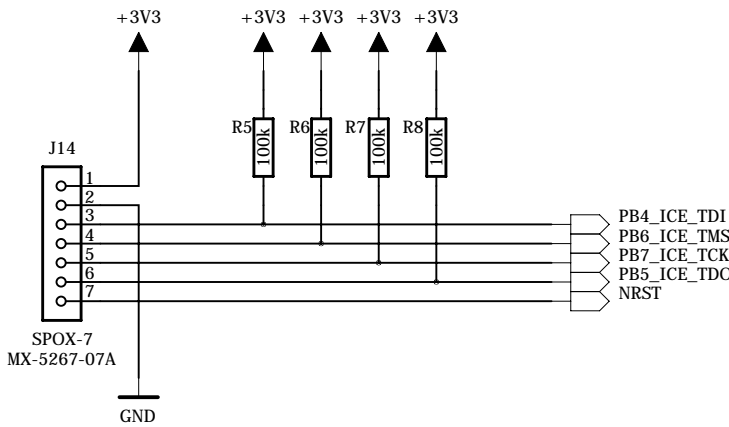
D

D

C

C

PROGRAMMER SAM-ICE



B

B

A

A

DRAWN: Bc. Zapletal	DATED: 3_2017
CHECKED: Ing. Diviš	DATED: 3_2017
QUALITY CONTROL:	DATED:
RELEASED:	DATED:

COMPANY: PSI s.r.o.			
TITLE: Automatic scanner			
CODE:	SIZE:	DRAWING NO: A.6	REV: 1
SCALE:			SHEET: OF

6

5

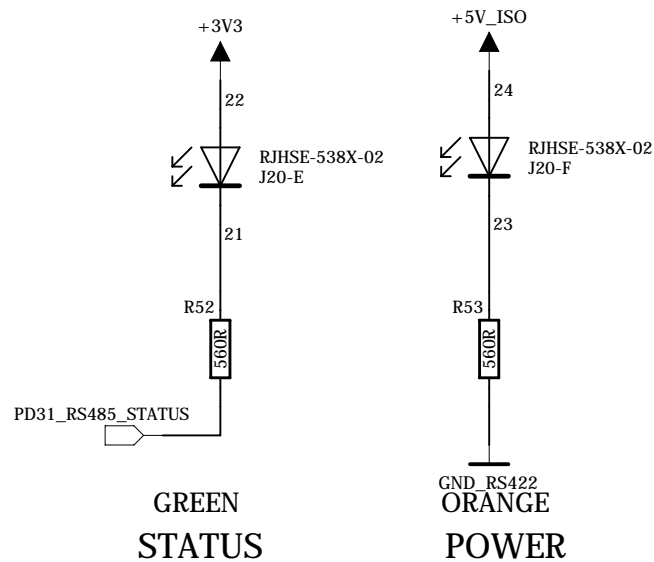
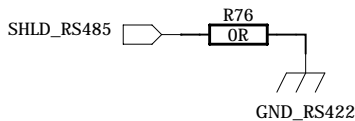
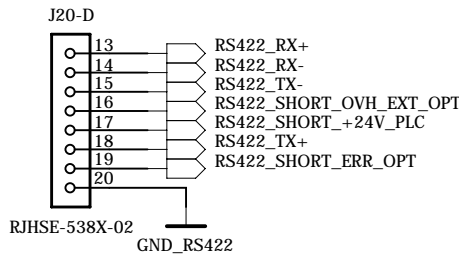
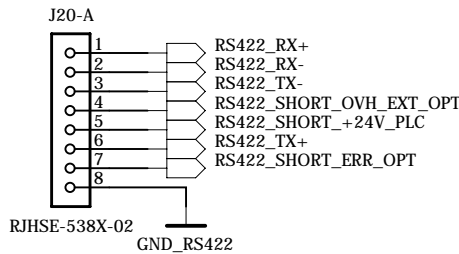
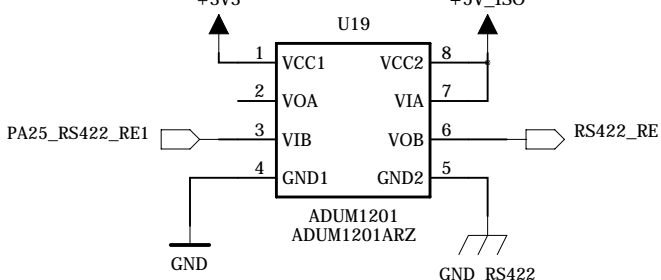
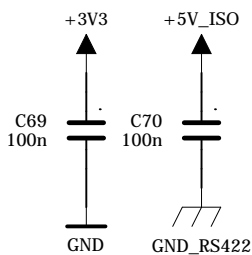
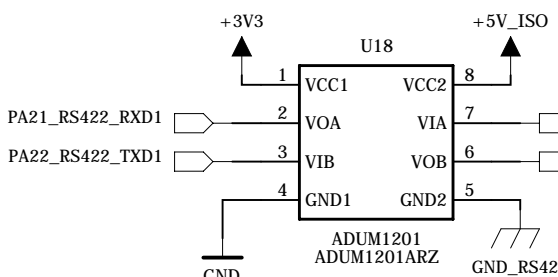
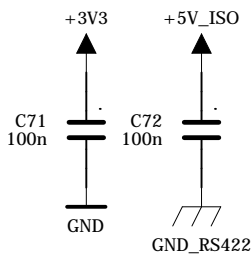
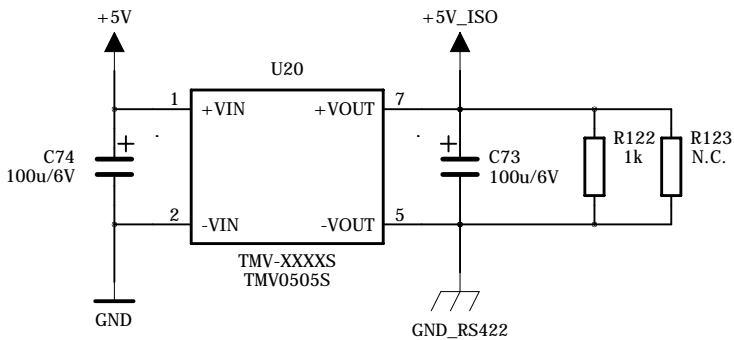
4

3

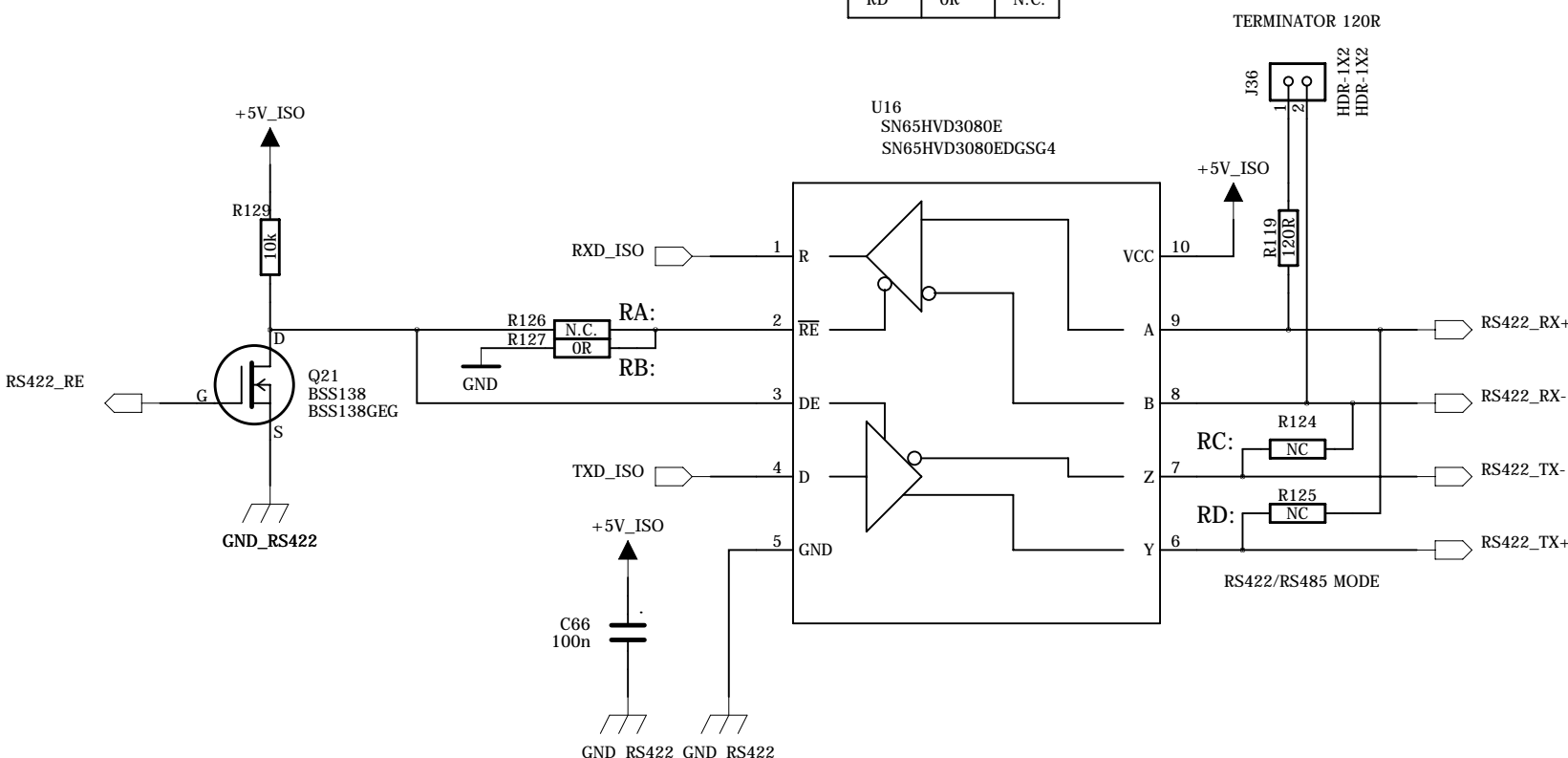
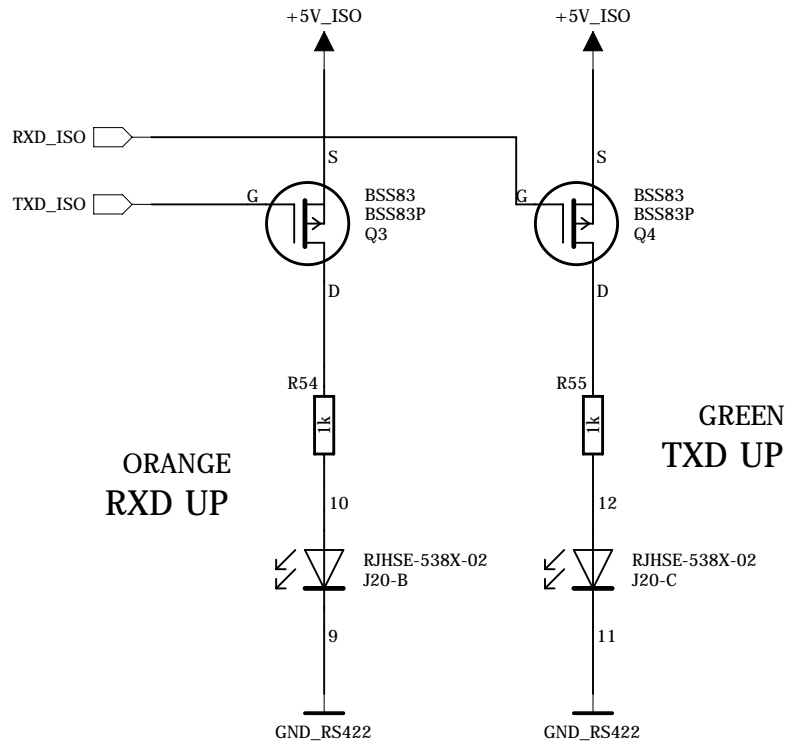
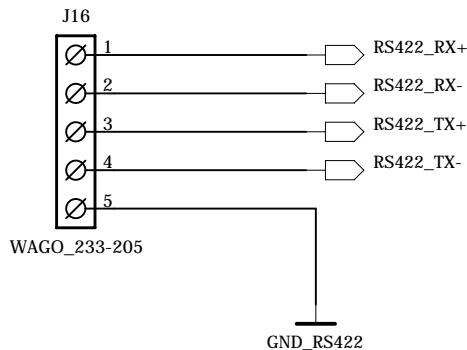
2

1

REVISION RECORD			
LTR	ECO NO:	APPROVED:	DATE:



MODE	485	422
RA	OR	N.C.
RB	N.C.	OR
RC	OR	N.C.
RD	OR	N.C.



COMPANY: PSI s.r.o.			
TITLE: Automatic scanner			
CODE:	SIZE:	DRAWING NO: A.7	REV: 1
SCALE:		SHEET: OF	

DRAWN: Bc. Zapletal	DATED: 3_2017
CHECKED: Ing. Diviš	DATED: 3_2017
QUALITY CONTROL:	DATED:
RELEASED:	DATED:

6

5

4

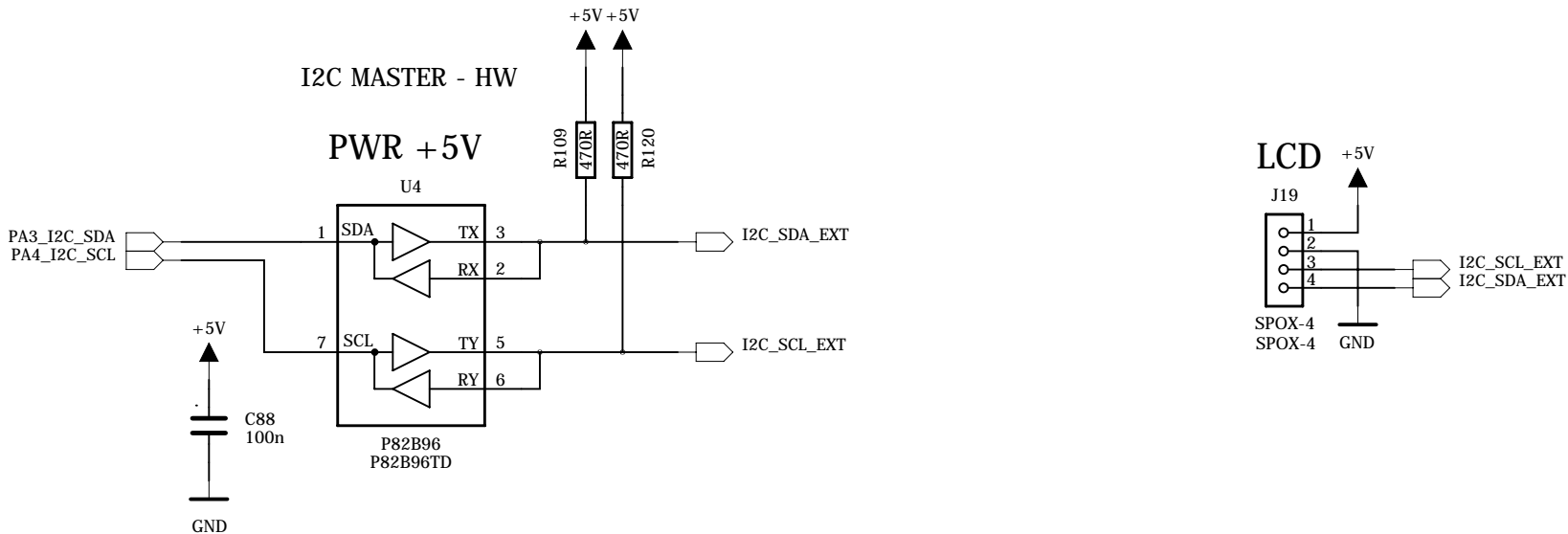
3

2

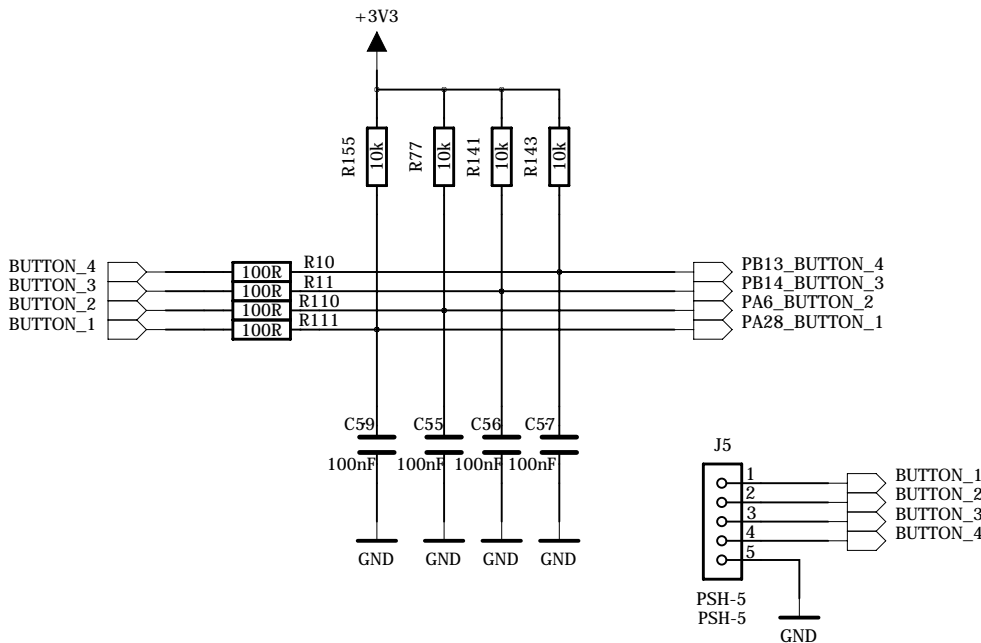
1

REVISION RECORD			
LTR	ECO NO:	APPROVED:	DATE:

DISPLAY

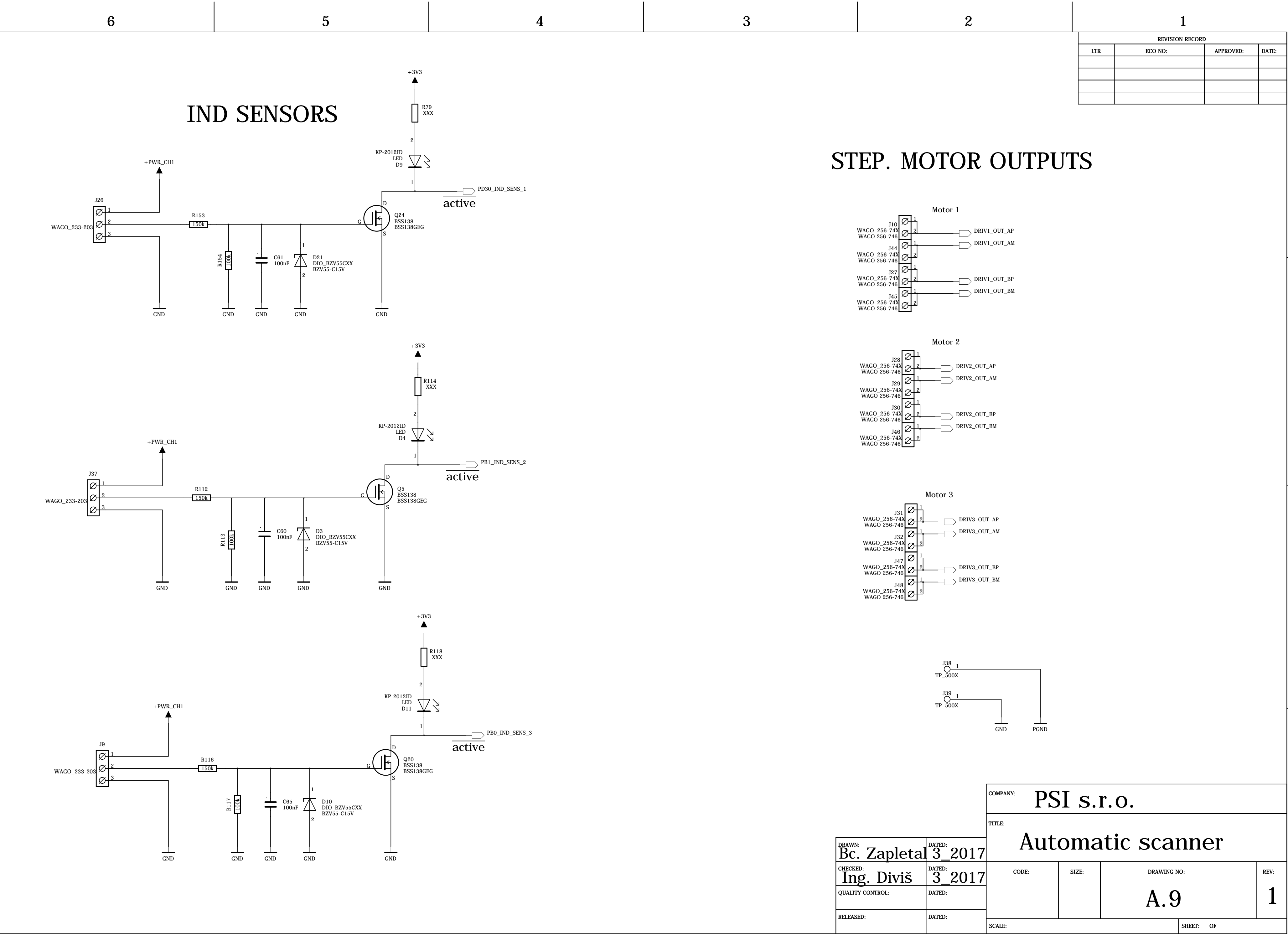


BUTTONS



COMPANY: PSI s.r.o.			
TITLE: Automatic scanner			
CODE:	SIZE:	DRAWING NO: A.8	REV: 1
SCALE:		SHEET: OF	

DRAWN: Bc. Zapletal	DATED: 3_2017
CHECKED: Ing. Diviš	DATED: 3_2017
QUALITY CONTROL:	DATED:
RELEASED:	DATED:



J38

TP_500X

1

J39

TP_500X

1

GND

PGND

COMPANY:

PSI s.r.o.

TITLE:

Automatic scanner

DRAWN:

Bc. Zapletal

DATED:

3_2017

CHECKED:

Ing. Diviš

DATED:

3_2017

QUALITY CONTROL:

DATED:

RELEASED:

DATED:

CODE:

SIZE:

DRAWING NO:

REV:

A.9

1

SCALE:

SHEET: OF

6

5

4

3

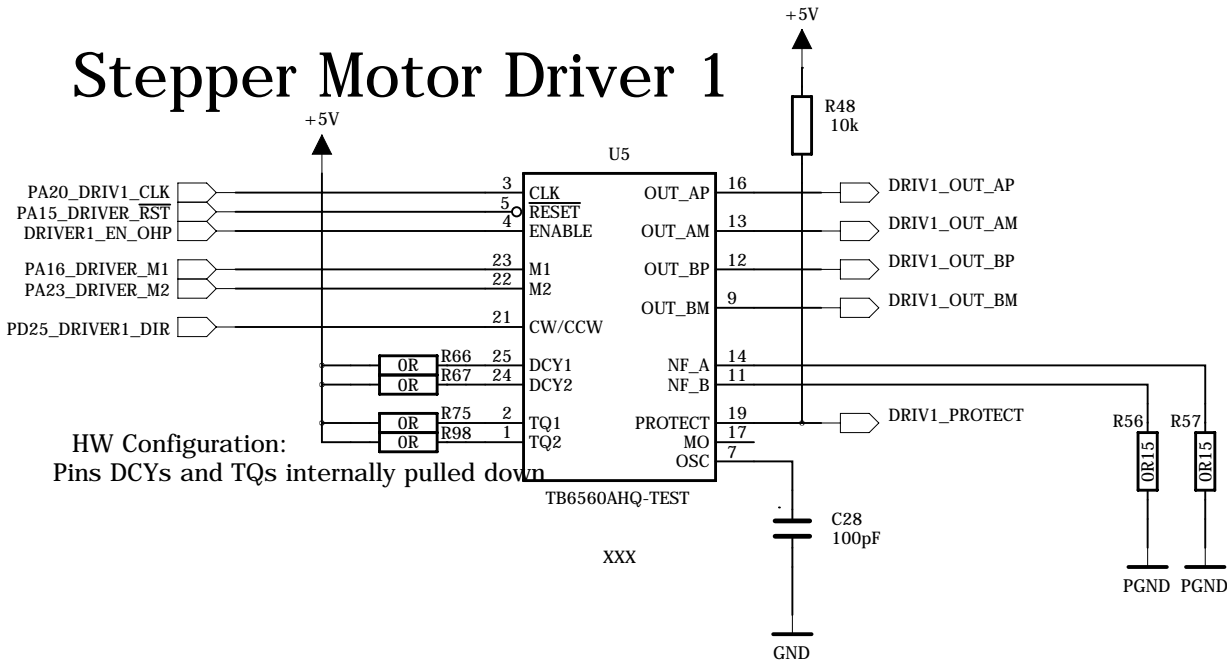
2

1

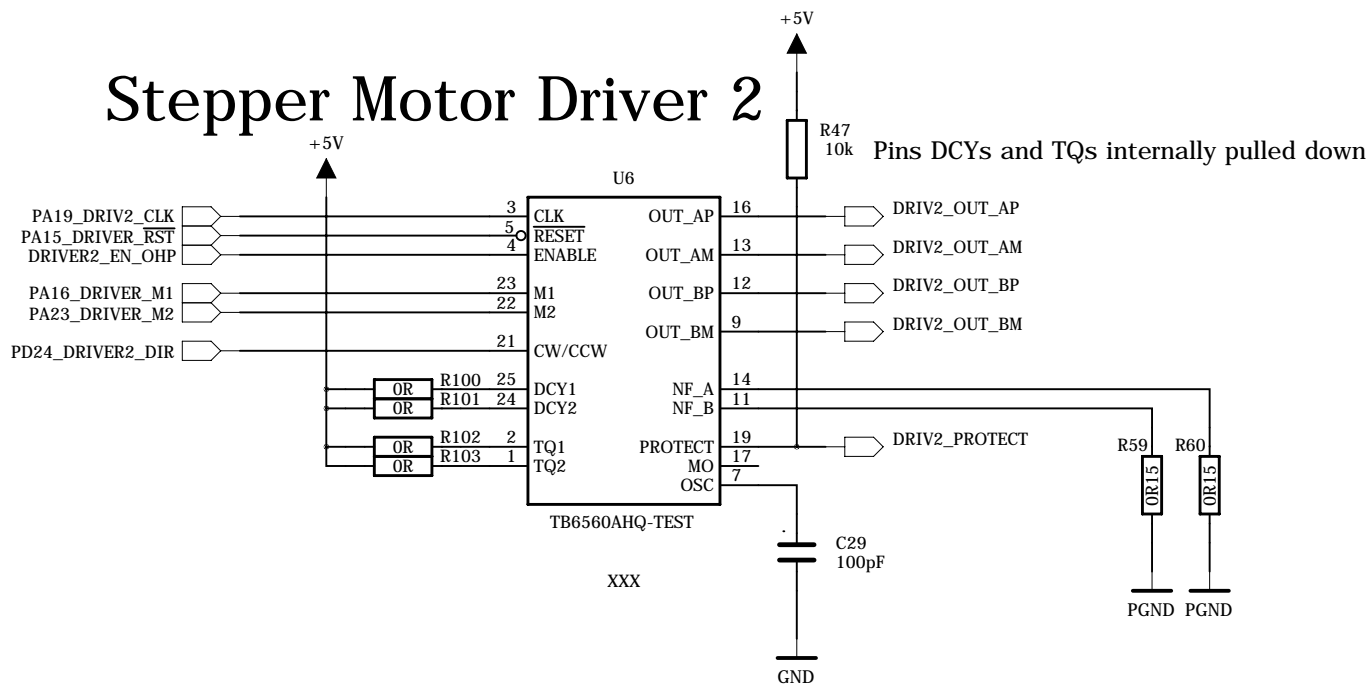
Note: Vystup z Driver_protect max 1mA -> posileni s trandakem a ze zdroje 3V3

REVISION RECORD			
LTR	ECO NO:	APPROVED:	DATE:

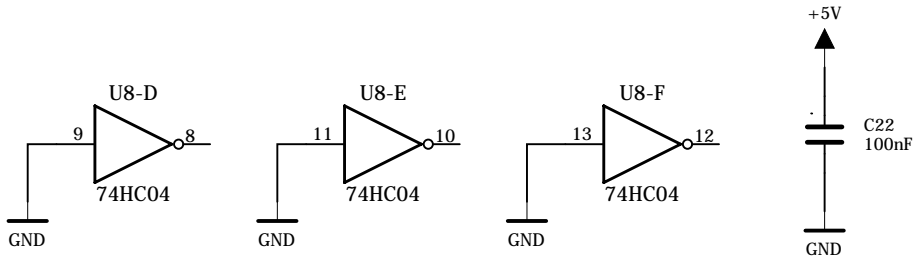
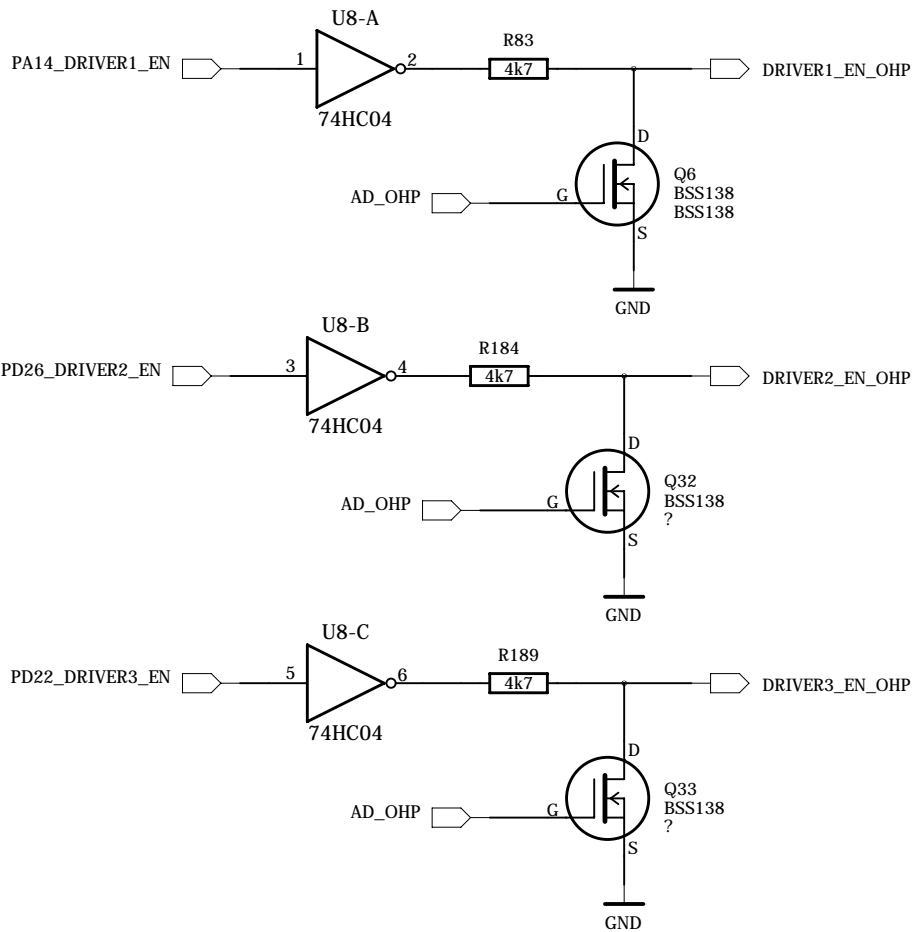
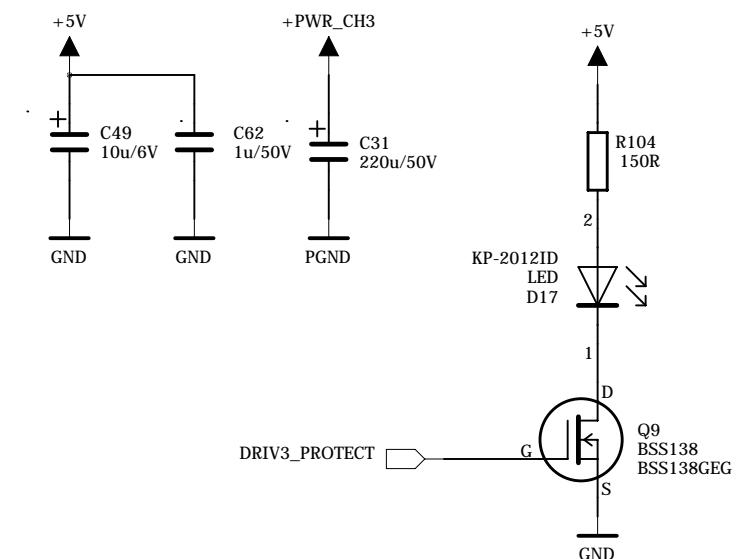
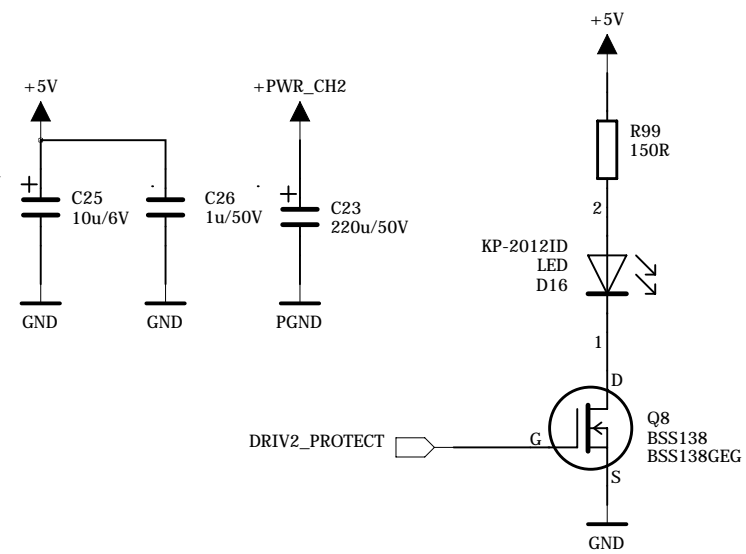
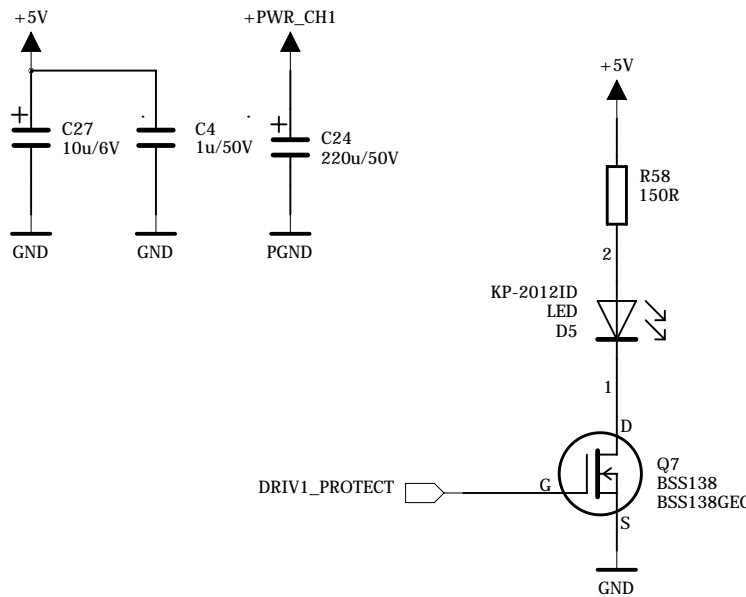
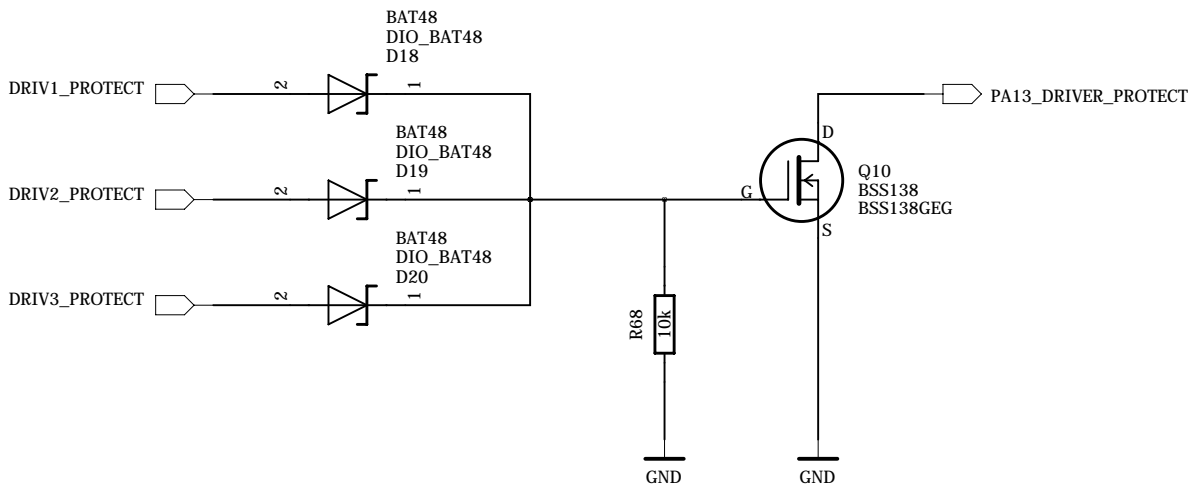
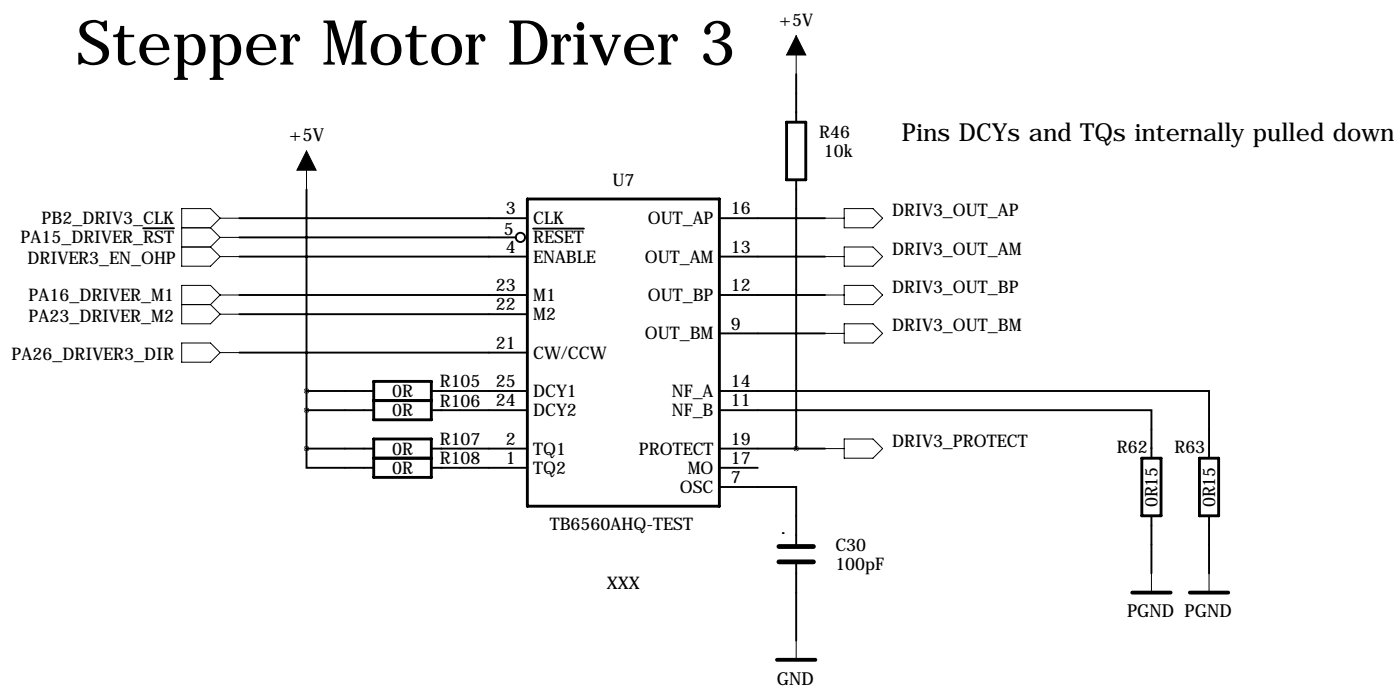
Stepper Motor Driver 1



Stepper Motor Driver 2



Stepper Motor Driver 3



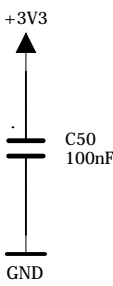
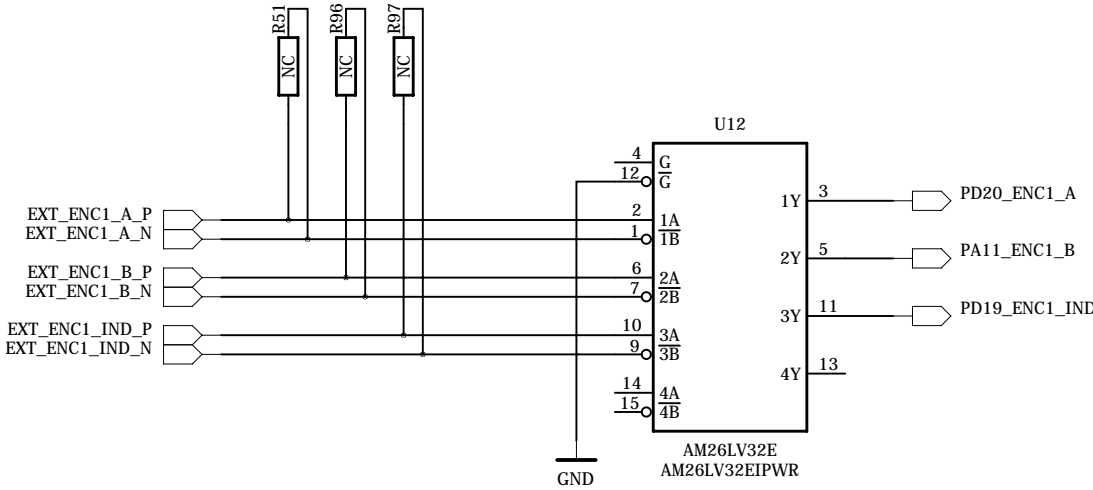
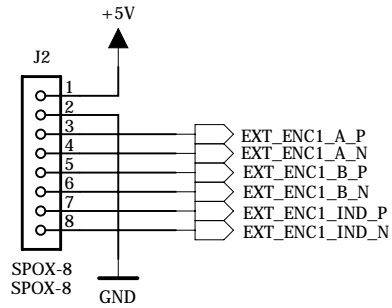
COMPANY: PSI s.r.o.			
TITLE: Automatic scanner			
CODE:	SIZE:	DRAWING NO:	REV:
A.10			1
SCALE:			SHEET: OF

DRAWN: Bc. Zapleta	DATED: 3_2017
CHECKED: Ing. Diviš	DATED: 3_2017
QUALITY CONTROL:	DATED:
RELEASED:	DATED:

ENCODERS

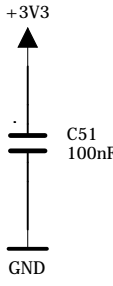
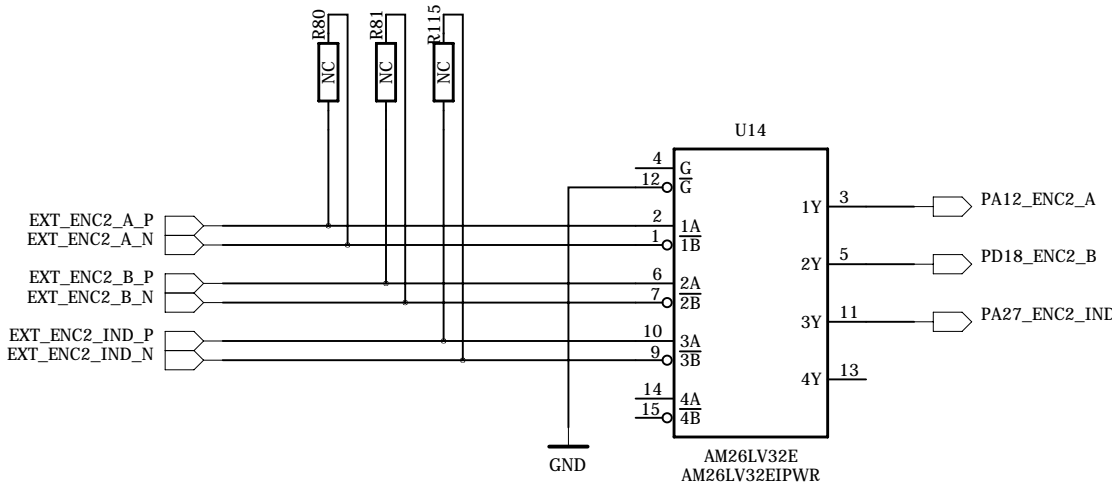
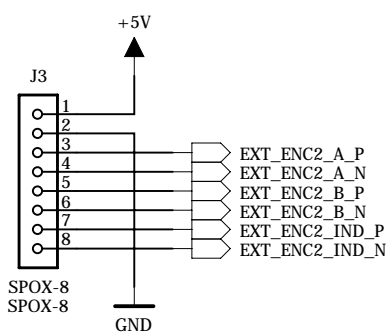
REVISION RECORD			
LTR	ECO NO:	APPROVED:	DATE:

Encoder 1

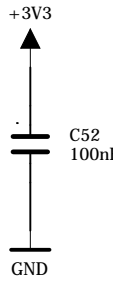
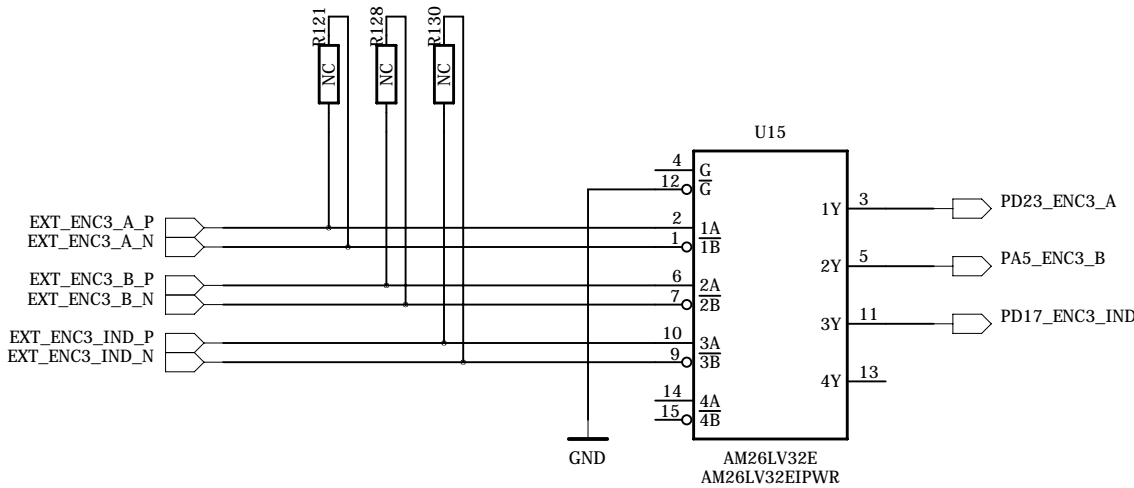
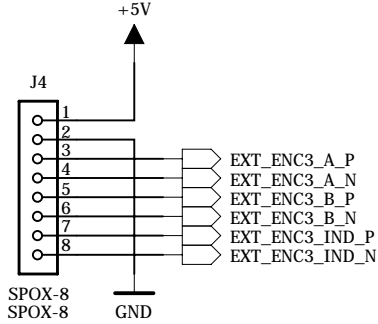


DIFFERENTIAL INPUT	ENABLES		OUTPUT
	G	G	
$V_{ID} \geq 0.2\text{ V}$	H	X	H
	X	L	H
$-0.2\text{ V} < V_{ID} < 0.2\text{ V}$	H	X	?
	X	L	?
$V_{ID} \leq -0.2\text{ V}$	H	X	L
	X	L	L
Open, shorted, or terminated	H	X	H
	X	L	H
X	L	H	Z

Encoder 2



Encoder 3



COMPANY: PSI s.r.o.			
TITLE: Automatic scanner			
CODE:	SIZE:	DRAWING NO: A.12	REV: 1
SCALE:			SHEET: OF

DRAWN: Bc. Zapleta	DATED: 3_2017
CHECKED: Ing. Diviš	DATED: 3_2017
QUALITY CONTROL:	DATED:
RELEASED:	DATED:

6

5

4

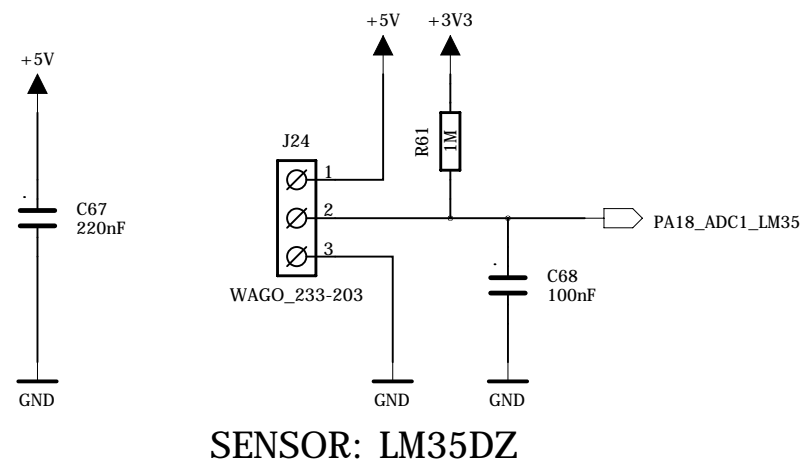
3

2

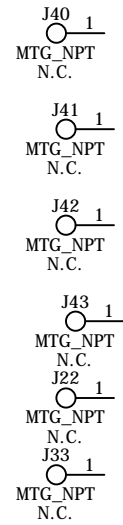
1

REVISION RECORD			
LTR	ECO NO:	APPROVED:	DATE:

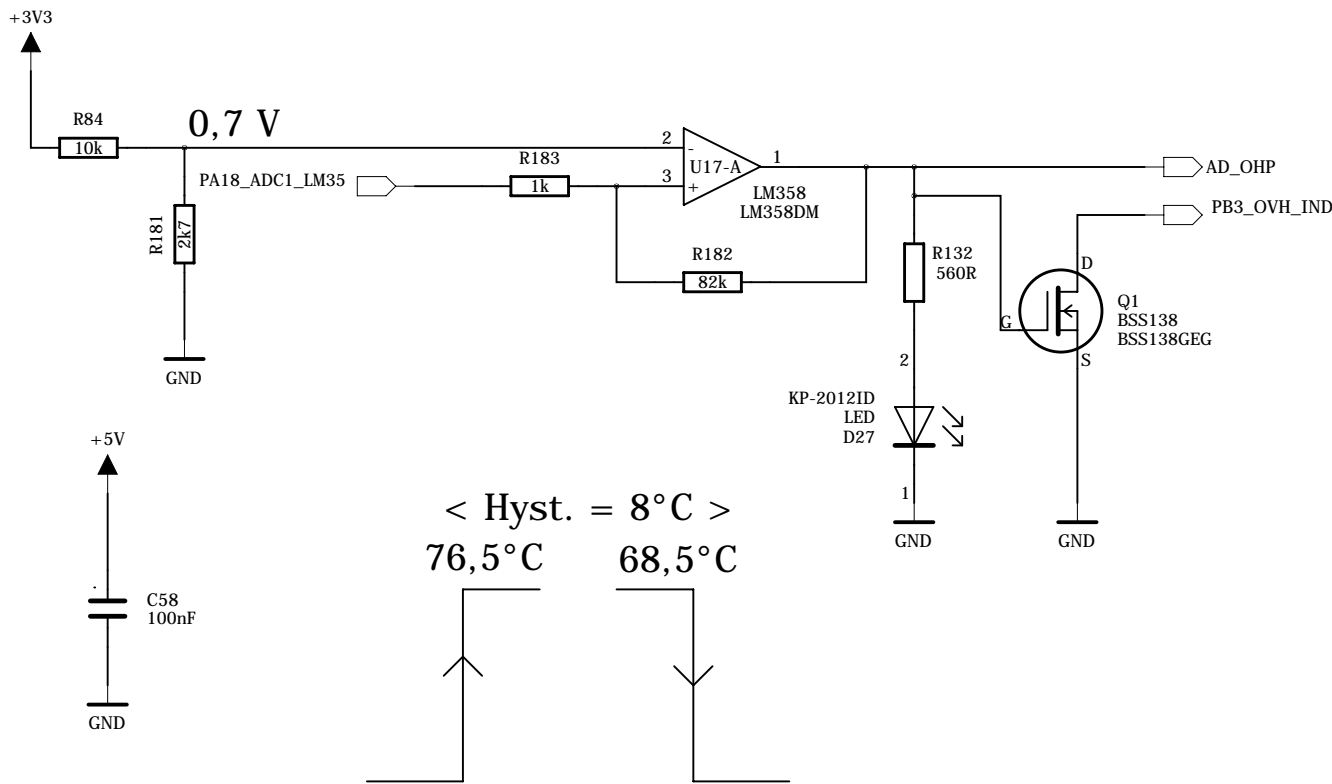
TEMP SENSOR



SENSOR: LM35DZ

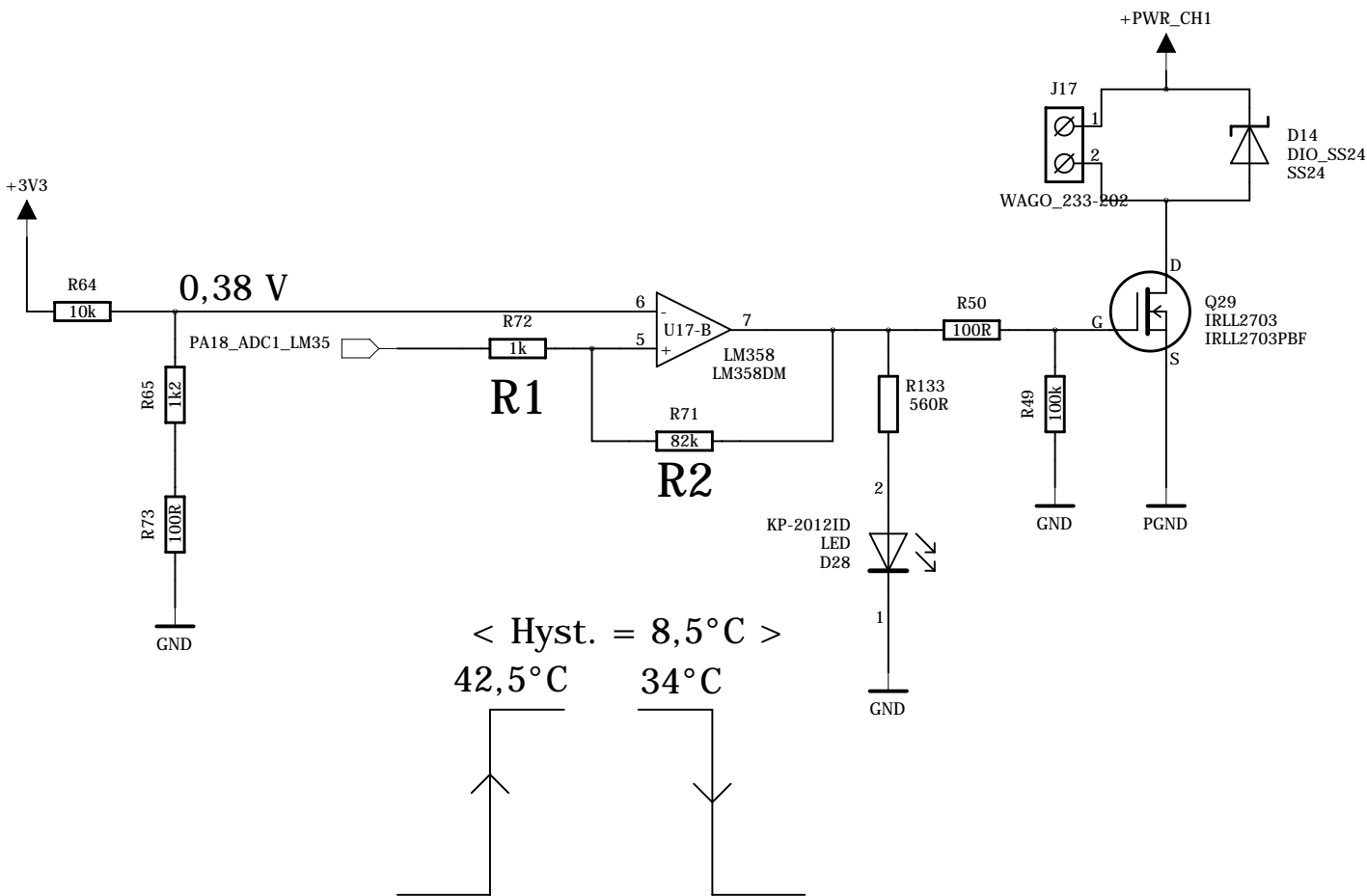


OVERHEAT HW PROTECTION



< Hyst. = 8°C >
76,5°C
68,5°C

OVERHEAT FAN HW SWITCH

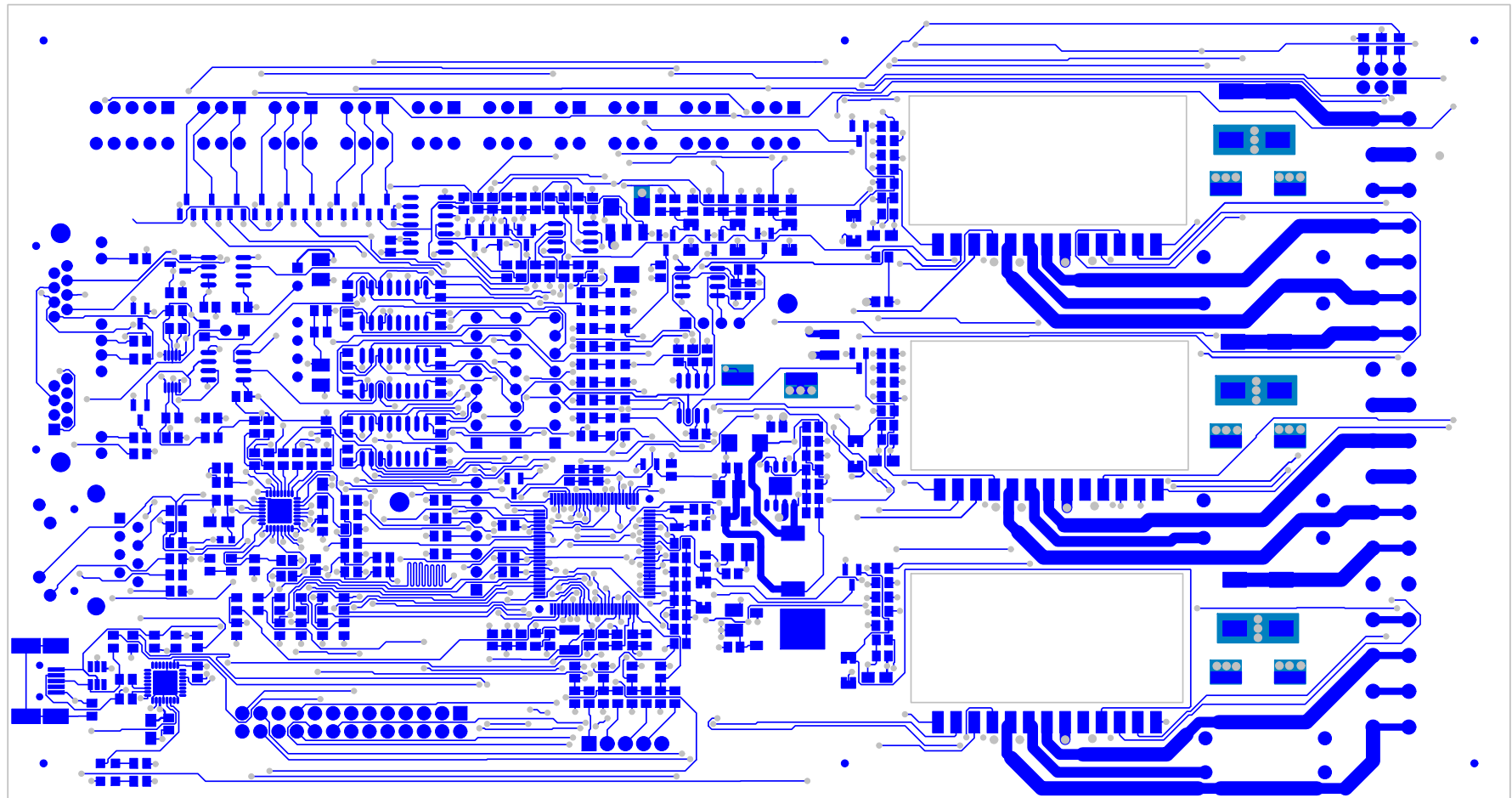


< Hyst. = 8,5°C >
42,5°C
34°C

COMPANY: PSI s.r.o.			
TITLE: Automatic scanner			
CODE:	SIZE:	DRAWING NO: A.13	REV: 1
SCALE:		SHEET: OF	

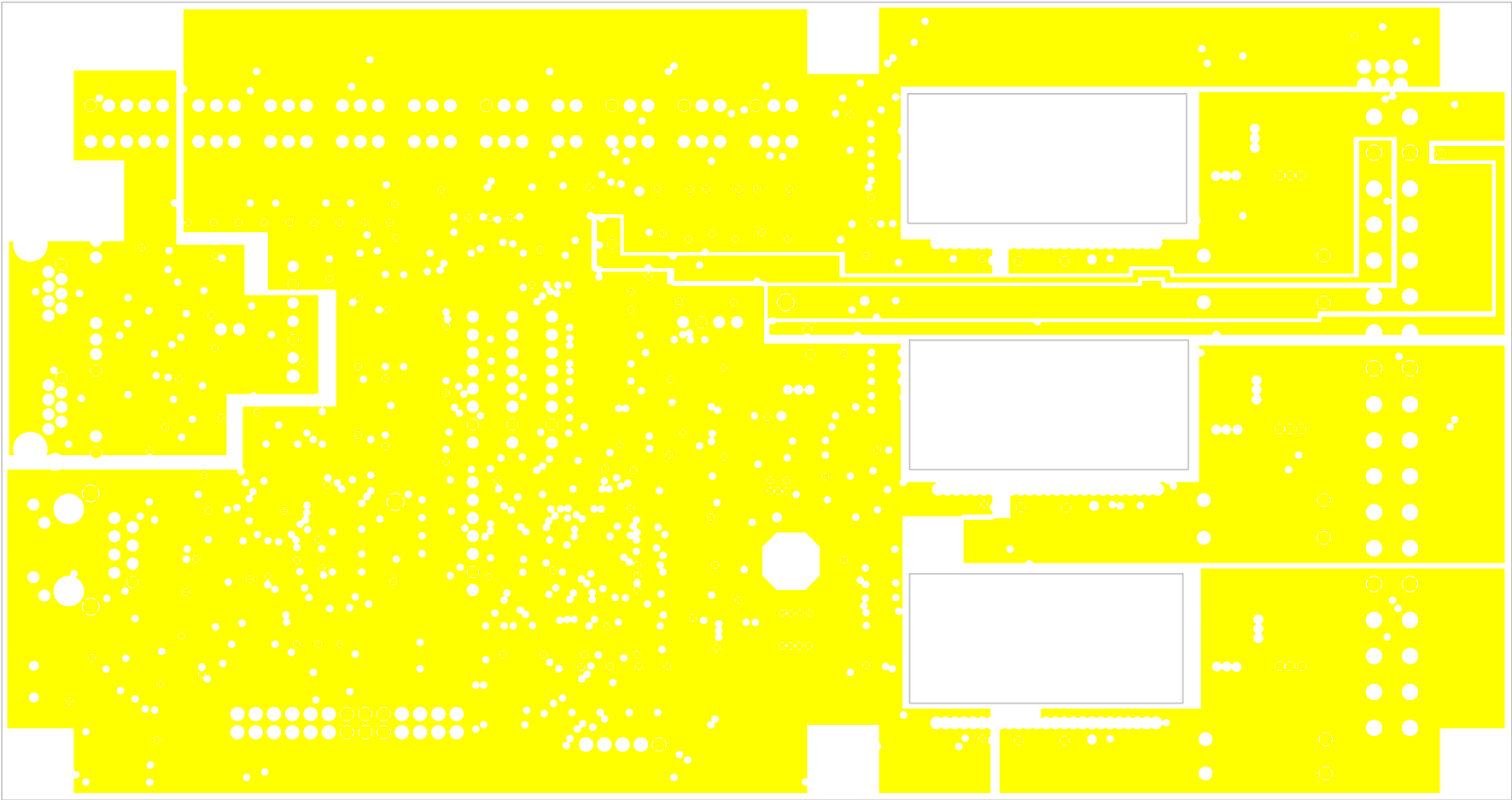
DRAWN: Bc. Zapletal	DATED: 3_2017
CHECKED: Ing. Diviš	DATED: 3_2017
QUALITY CONTROL:	DATED:
RELEASED:	DATED:

B LAYOUT DPS



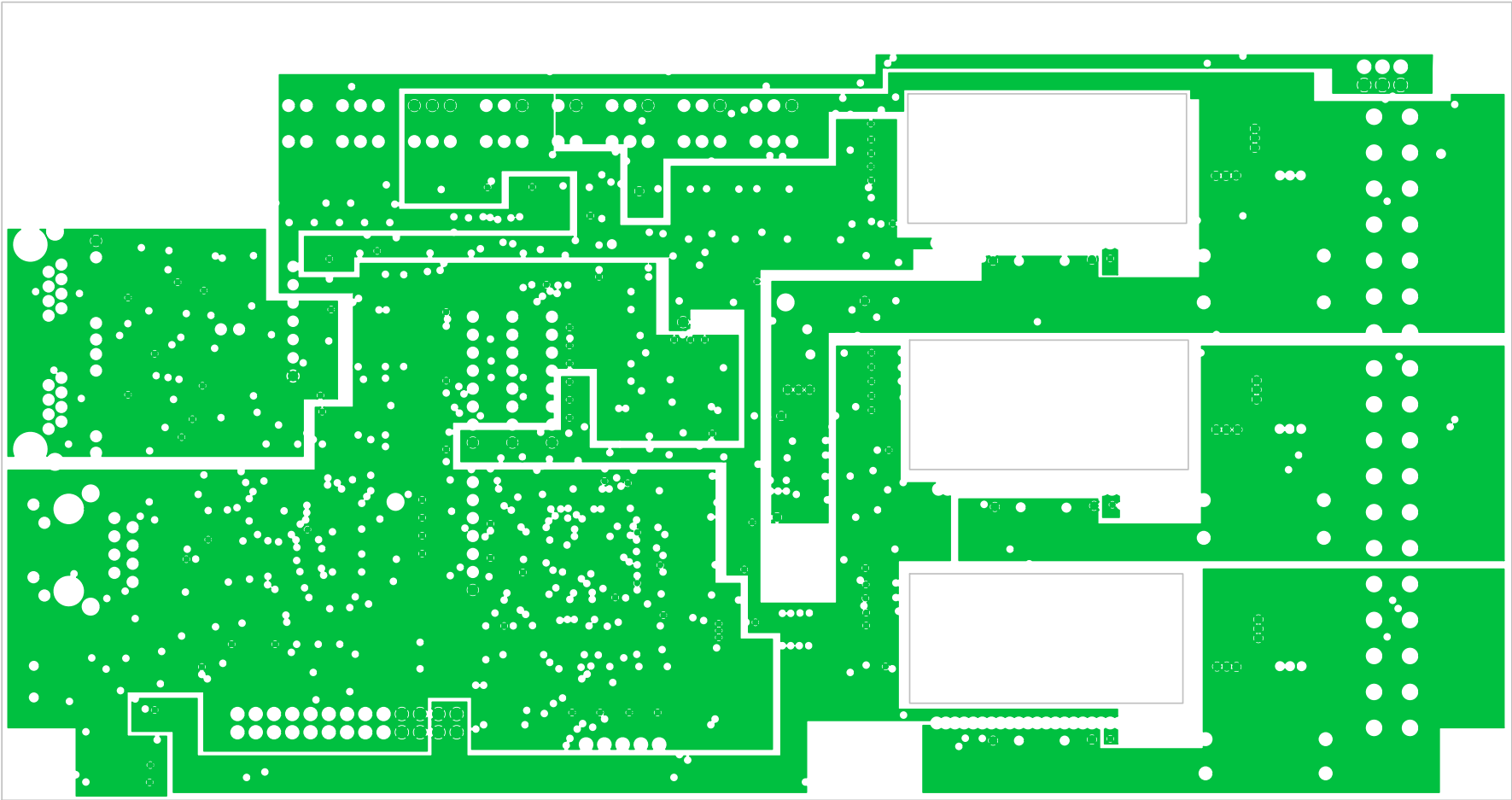
LAYER 1 (TOP SIDE)

L1.PHO



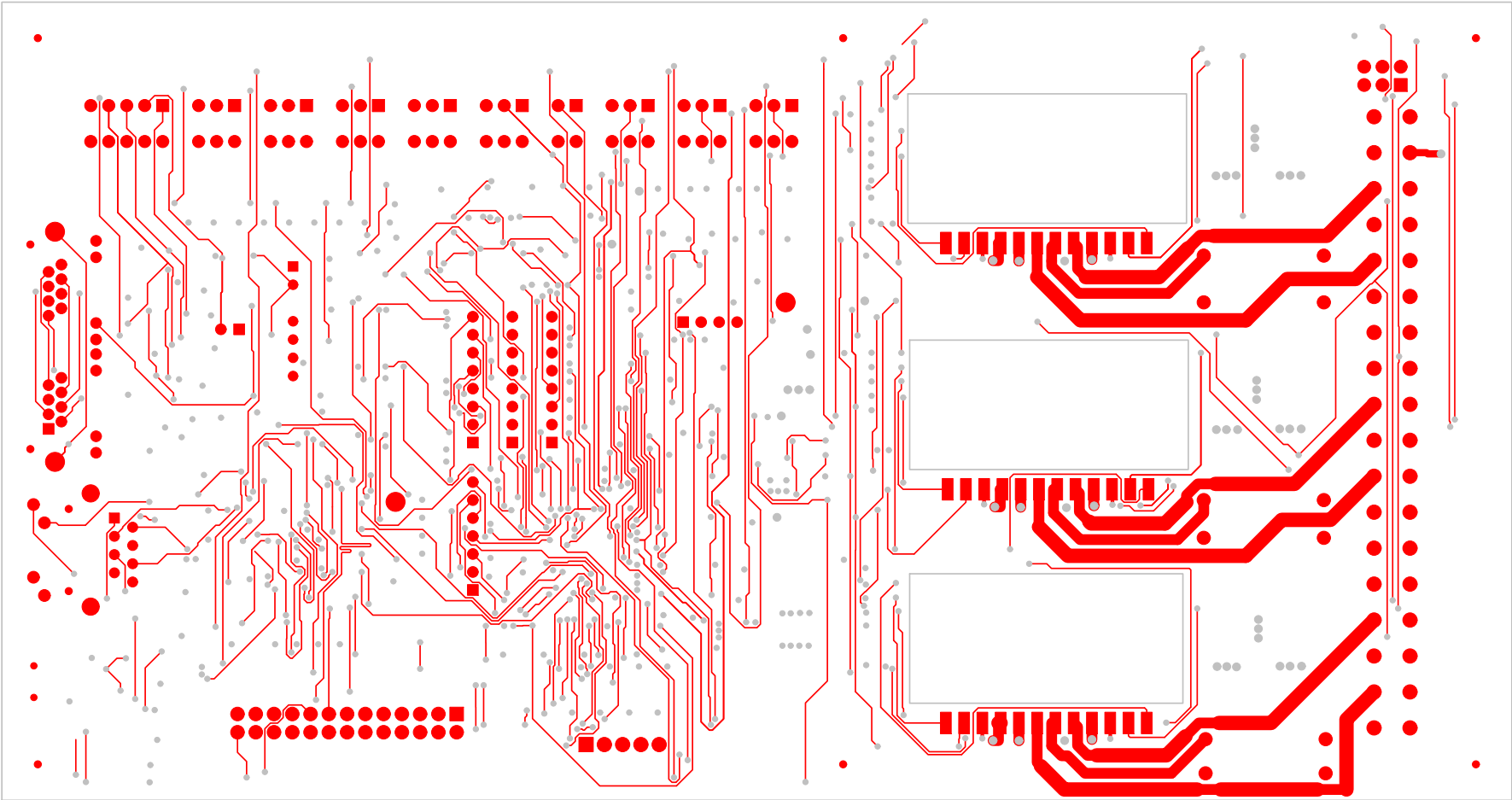
LAYER 2 (GROUND PLANE)

L2.PH0



LAYER 3 (VOLTAGE PLANE)

L3.PH0



LAYER 4 (BOTTOM SIDE)

L4.PHO

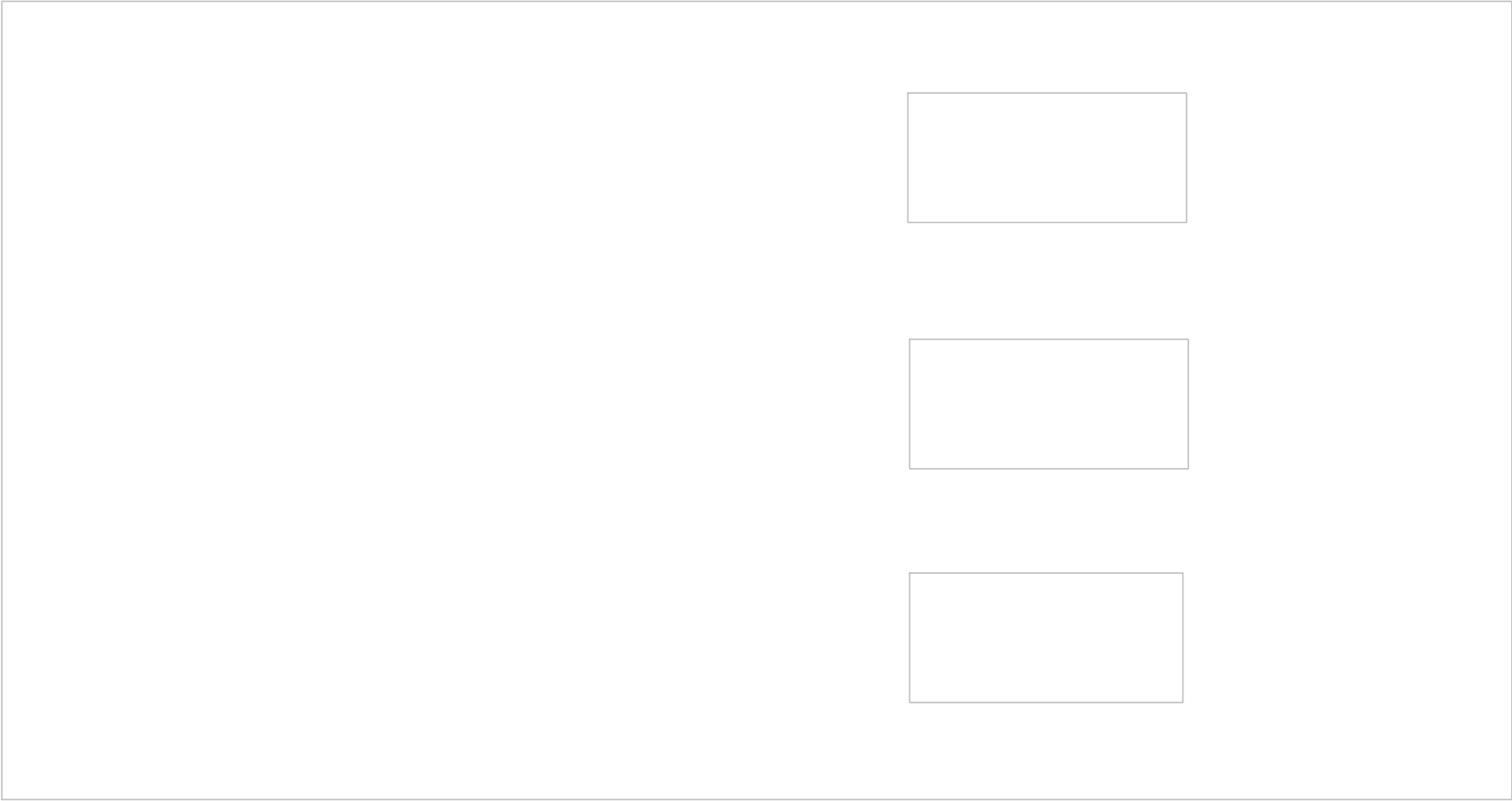
P\N: 1f1-01XX-0000 REV A

The PCB layout is a 1U rack-mountable design, approximately 170mm wide and 100mm high. It features a front panel with a display and buttons, a rear panel with multiple connectors, and a power supply section. The layout is organized into functional blocks, with components labeled with their respective designators and values.

Front Panel: The front panel is located on the left side of the board. It includes a display (J1) and buttons (J2, J3, J4, J5, J6, J7, J8, J9, J10, J11, J12, J13, J14, J15, J16, J17, J18, J19, J20, J21, J22, J23, J24, J25, J26, J27, J28, J29, J30, J31, J32, J33, J34, J35, J36, J37, J38, J39, J40, J41, J42, J43, J44, J45, J46, J47, J48, J49, J50, J51, J52, J53, J54, J55, J56, J57, J58, J59, J60, J61, J62, J63, J64, J65, J66, J67, J68, J69, J70, J71, J72, J73, J74, J75, J76, J77, J78, J79, J80, J81, J82, J83, J84, J85, J86, J87, J88, J89, J90, J91, J92, J93, J94, J95, J96, J97, J98, J99, J100, J101, J102, J103, J104, J105, J106, J107, J108, J109, J110, J111, J112, J113, J114, J115, J116, J117, J118, J119, J120, J121, J122, J123, J124, J125, J126, J127, J128, J129, J130, J131, J132, J133, J134, J135, J136, J137, J138, J139, J140, J141, J142, J143, J144, J145, J146, J147, J148, J149, J150, J151, J152, J153, J154, J155, J156, J157, J158, J159, J160, J161, J162, J163, J164, J165, J166, J167, J168, J169, J170, J171, J172, J173, J174, J175, J176, J177, J178, J179, J180, J181, J182, J183, J184, J185, J186, J187, J188, J189, J190, J191, J192, J193, J194, J195, J196, J197, J198, J199, J200, J201, J202, J203, J204, J205, J206, J207, J208, J209, J210, J211, J212, J213, J214, J215, J216, J217, J218, J219, J220, J221, J222, J223, J224, J225, J226, J227, J228, J229, J230, J231, J232, J233, J234, J235, J236, J237, J238, J239, J240, J241, J242, J243, J244, J245, J246, J247, J248, J249, J250, J251, J252, J253, J254, J255, J256, J257, J258, J259, J260, J261, J262, J263, J264, J265, J266, J267, J268, J269, J270, J271, J272, J273, J274, J275, J276, J277, J278, J279, J280, J281, J282, J283, J284, J285, J286, J287, J288, J289, J290, J291, J292, J293, J294, J295, J296, J297, J298, J299, J300, J301, J302, J303, J304, J305, J306, J307, J308, J309, J310, J311, J312, J313, J314, J315, J316, J317, J318, J319, J320, J321, J322, J323, J324, J325, J326, J327, J328, J329, J330, J331, J332, J333, J334, J335, J336, J337, J338, J339, J340, J341, J342, J343, J344, J345, J346, J347, J348, J349, J350, J351, J352, J353, J354, J355, J356, J357, J358, J359, J360, J361, J362, J363, J364, J365, J366, J367, J368, J369, J370, J371, J372, J373, J374, J375, J376, J377, J378, J379, J380, J381, J382, J383, J384, J385, J386, J387, J388, J389, J390, J391, J392, J393, J394, J395, J396, J397, J398, J399, J400, J401, J402, J403, J404, J405, J406, J407, J408, J409, J410, J411, J412, J413, J414, J415, J416, J417, J418, J419, J420, J421, J422, J423, J424, J425, J426, J427, J428, J429, J430, J431, J432, J433, J434, J435, J436, J437, J438, J439, J440, J441, J442, J443, J444, J445, J446, J447, J448, J449, J450, J451, J452, J453, J454, J455, J456, J457, J458, J459, J460, J461, J462, J463, J464, J465, J466, J467, J468, J469, J470, J471, J472, J473, J474, J475, J476, J477, J478, J479, J480, J481, J482, J483, J484, J485, J486, J487, J488, J489, J490, J491, J492, J493, J494, J495, J496, J497, J498, J499, J500, J501, J502, J503, J504, J505, J506, J507, J508, J509, J510, J511, J512, J513, J514, J515, J516, J517, J518, J519, J520, J521, J522, J523, J524, J525, J526, J527, J528, J529, J530, J531, J532, J533, J534, J535, J536, J537, J538, J539, J540, J541, J542, J543, J544, J545, J546, J547, J548, J549, J550, J551, J552, J553, J554, J555, J556, J557, J558, J559, J560, J561, J562, J563, J564, J565, J566, J567, J568, J569, J570, J571, J572, J573, J574, J575, J576, J577, J578, J579, J580, J581, J582, J583, J584, J585, J586, J587, J588, J589, J590, J591, J592, J593, J594, J595, J596, J597, J598, J599, J600, J601, J602, J603, J604, J605, J606, J607, J608, J609, J610, J611, J612, J613, J614, J615, J616, J617, J618, J619, J620, J621, J622, J623, J624, J625, J626, J627, J628, J629, J630, J631, J632, J633, J634, J635, J636, J637, J638, J639, J640, J641, J642, J643, J644, J645, J646, J647, J648, J649, J650, J651, J652, J653, J654, J655, J656, J657, J658, J659, J660, J661, J662, J663, J664, J665, J666, J667, J668, J669, J670, J671, J672, J673, J674, J675, J676, J677, J678, J679, J680, J681, J682, J683, J684, J685, J686, J687, J688, J689, J690, J691, J692, J693, J694, J695, J696, J697, J698, J699, J700, J701, J702, J703, J704, J705, J706, J707, J708, J709, J710, J711, J712, J713, J714, J715, J716, J717, J718, J719, J720, J721, J722, J723, J724, J725, J726, J727, J728, J729, J730, J731, J732, J733, J734, J735, J736, J737, J738, J739, J740, J741, J742, J743, J744, J745, J746, J747, J748, J749, J750, J751, J752, J753, J754, J755, J756, J757, J758, J759, J760, J761, J762, J763, J764, J765, J766, J767, J768, J769, J770, J771, J772, J773, J774, J775, J776, J777, J778, J779, J780, J781, J782, J783, J784, J785, J786, J787, J788, J789, J790, J791, J792, J793, J794, J795, J796, J797, J798, J799, J800, J801, J802, J80

L1.PH0

L1.PH0

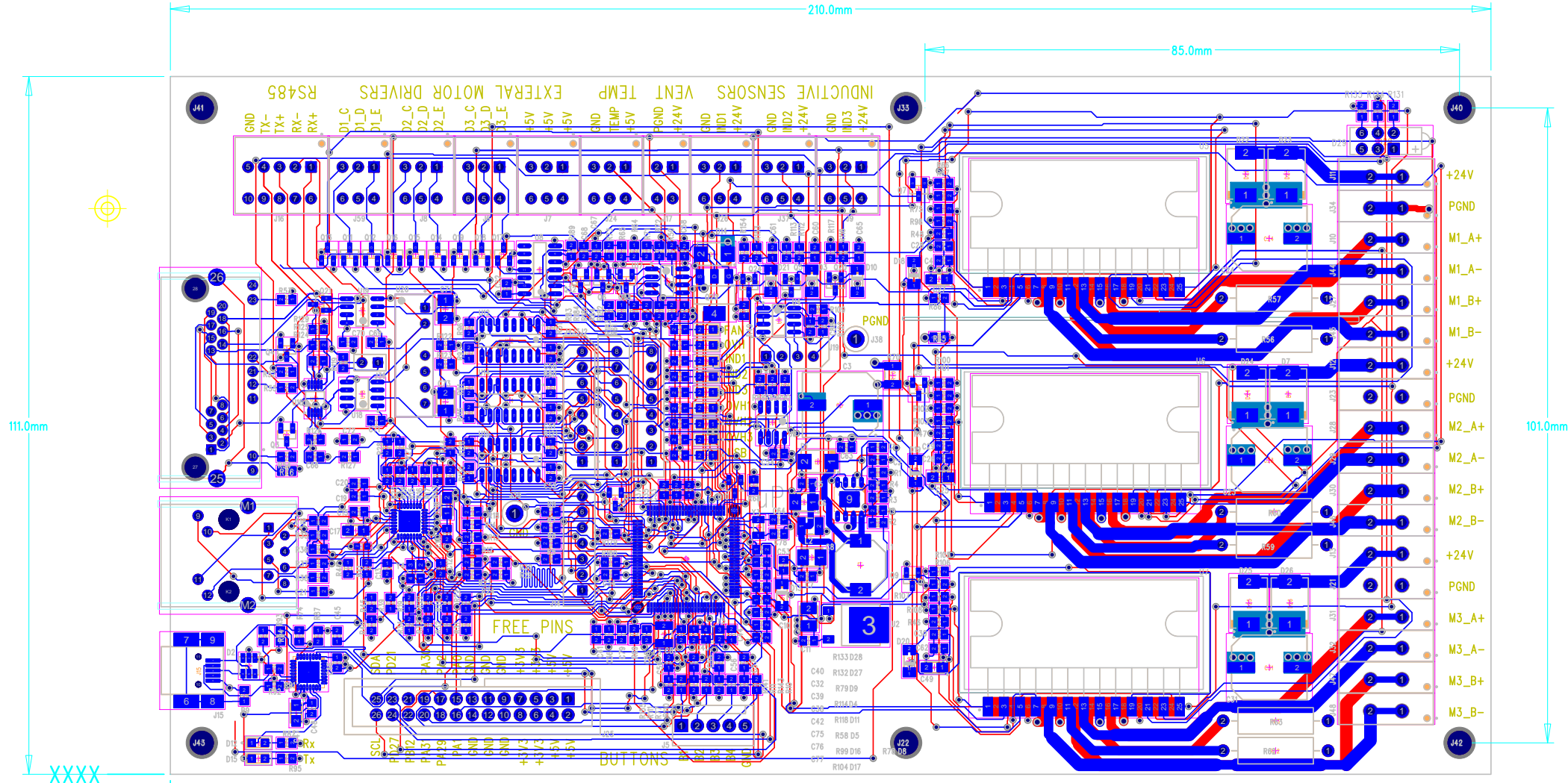


LAYER 4 (BOTTOM SIDE)

L4.PHO

P:\N: 161-01XX-0000 REV A

Composite



AUTOMATIC SCANNER REV.1			
PART NO.:	161-01XX-0000	REV:	1
		DATE:	5_2017
SOYBER IN (SIDE SIDE SIDE)		GERBER:	XXXXXXXXX M1PHO

S/N [REDACTED] BOARD NAME
REV [REDACTED] ASSY NO: 700-01XX-0000
MADE IN CZE
A V3R 0000-XX10-101 :N\9
© 2017

C SEZNAM SOUČÁSTEK

C1	CAPC	CAP2012N(0805)	10n
C2	CAPC	CAP2012N(0805)	1u/50V
C3	CAPAE	CAPAE-GN	220u/50V
C4	CAPC	CAP2012N(0805)	1u/50V
C5	CAPC	CAP2012N(0805)	1u/50V
C6	CAPT	CAPT3528N(B)	100u/6V
C7	CAPC	CAP2012N(0805)	1u/50V
C8	CAPT	CAPT3528N(B)	100u/6V
C9	CAPC	CAP2012N(0805)	10n
C10	CAPT	CAPT3528N(B)	100u/6V
C11	CAPC	CAP2012N(0805)	1u/50V
C12	CAPC	CAP2012N(0805)	18p
C13	CAPC	CAP2012N(0805)	18p
C14	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C15	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C16	CAPT	CAPT3216N(A)	10u/10V
C17	CAPT	CAPT3216N(A)	10u/10V
C18	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C19	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C20	CAPC	CAP2012N(0805)	2,2uF
C21	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C22	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C23	CAPAE	CAPAE-GN	220u/50V
C24	CAPAE	CAPAE-GN	220u/50V
C25	CAPT	CAPT3216N(A)	10u/6V
C26	CAPC	CAP2012N(0805)	1u/50V
C27	CAPT	CAPT3216N(A)	10u/6V
C28	CAPC	CAP2012N(0805)	100pF
C29	CAPC	CAP2012N(0805)	100pF
C30	CAPC	CAP2012N(0805)	100pF
C31	CAPAE	CAPAE-GN	220u/50V
C32	CAPC	CAP2012N(0805)	10nF
C33	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C34	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C35	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C36	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C37	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C38	CAPC	CAP2012N(0805)	10nF
C39	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C40	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C41	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF

C42	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C43	CAPC	CAP2012N(0805)	12pF
C44	CAPC	CAP2012N(0805)	12pF
C45	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C46	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C47	CAPT	CAPT3216N(A)	10u/6V
C48	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C49	CAPT	CAPT3216N(A)	10u/6V
C50	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C51	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C52	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C53	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C54	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C55	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C56	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C57	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C58	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C59	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C60	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C61	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C62	CAPC	CAP2012N(0805)	1u/50V
C63	CAPC	CAP2012N(0805)	1u/50V
C64	CAPC	CAP2012N(0805)	12pF
C65	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C66	CAPC	CAP2012N(0805)	100n
C67	CAPC	CAP2012N(0805)	220nF
C68	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C69	CAPC	CAP2012N(0805)	100n
C70	CAPC	CAP2012N(0805)	100n
C71	CAPC	CAP2012N(0805)	100n
C72	CAPC	CAP2012N(0805)	100n
C73	CAPT	CAPT3528N(B)	100u/6V
C74	CAPT	CAPT3528N(B)	100u/6V
C75	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C76	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C77	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C78	CAPC	CAP2012N(0805)	12pF
C79	CAPC	CAP2012N(0805)	100nF
C80	CAPC	CAP2012N(0805)	22uF/10V
C81	CAPC	CAP2012N(0805)	2.2uF
C88	CAPC	CAP2012N(0805)	100n

D1	DIO_SS24	DIOSMBN	SS24
D2	MAX3207E	SOT-23-6N	
D3	DIO_BZV55CXX	DIOMLL34N(SOD-80)	BZV55-C15V
D4	LED	LED_0805	KP-2012ID
D5	LED	LED_0805	KP-2012ID
D7	DIO_MBR340	DIOSMCN	MBR340
D8	LED	LED_0805	KP-2012ID
D9	LED	LED_0805	KP-2012ID
D10	DIO_BZV55CXX	DIOMLL34N(SOD-80)	BZV55-C15V
D11	LED	LED_0805	KP-2012ID
D12	LED	LED_0805	KP-2012ID
D13	DIO_BZV55CXX	DIOMLL34N(SOD-80)	BZV55-C3V3
D14	DIO_SS24	DIOSMBN	SS24
D15	LED	LED_0805	KP-2012ID
D16	LED	LED_0805	KP-2012ID
D17	LED	LED_0805	KP-2012ID
D18	DIO_BAT48	DIOMLL34N(SOD-80)	BAT48
D19	DIO_BAT48	DIOMLL34N(SOD-80)	BAT48
D20	DIO_BAT48	DIOMLL34N(SOD-80)	BAT48
D21	DIO_BZV55CXX	DIOMLL34N(SOD-80)	BZV55-C15V
D22	DIO_MBR340	DIOSMCN	MBR340
D23	DIO_MBR340	DIOSMCN	MBR340
D24	DIO_MBR340	DIOSMCN	MBR340
D25	DIO_MBR340	DIOSMCN	MBR340
D26	DIO_MBR340	DIOSMCN	MBR340
D27	LED	LED_0805	KP-2012ID
D28	LED	LED_0805	KP-2012ID
D29	LED_L-394SA	LEDRR254W57L432T1143H1584P	L-394SA
J1	RJ-J0011D21BNL	RJ_RA-12-J0B	J0011D21BNL
J2	SPOX-8	5267-8	SPOX-8
J3	SPOX-8	5267-8	SPOX-8
J4	SPOX-8	5267-8	SPOX-8
J5	PSH-5	6410-5	PSH-5
J6	WAGO_233-203	233-203	?
J7	WAGO_233-203	233-203	?
J8	WAGO_233-203	233-203	?
J9	WAGO_233-203	233-203	?
J10	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J11	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J12	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J13	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746

J14	SPOX-7	5267-7	MX-5267-07A
J15	USBMINI-AB	67803-802X	65100516121
J16	WAGO_233-205	233-205	?
J17	WAGO_233-202	233-202	?
J19	SPOX-4	5267-4	SPOX-4
J20	RJHSE-538X-02	RJ_RJHSE-538X-02	
J21	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J22	MTG_NPT	MTG370	N.C.
J23	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J24	WAGO_233-203	233-203	?
J25	MLW-26	70246-26	?
J26	WAGO_233-203	233-203	?
J27	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J28	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J29	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J30	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J31	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J32	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J33	MTG_NPT	MTG370	N.C.
J34	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J36	HDR-1X2	HDR1X2	HDR-1X2
J37	WAGO_233-203	233-203	?
J38	TP_500X	TP_500X	?
J39	TP_500X	TP_500X	?
J40	MTG_NPT	MTG370	N.C.
J41	MTG_NPT	MTG370	N.C.
J42	MTG_NPT	MTG370	N.C.
J43	MTG_NPT	MTG370	N.C.
J44	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J45	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J46	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J47	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J48	WAGO_256-74X	256-74X	WAGO 256-746
J59	WAGO_233-203	233-203	?
L1	IND_SRU8043	IND_SRU8043	SRU8043-220Y
L2	INDC	IND3225N(1210)	MI1210K600R-10
L3	INDC	IND3225N(1210)	LQH32CN220K23L
L4	INDC	IND1608N(0603)	MI1210K600R-10
Q1	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q3	BSS83P	SOT-23N	BSS83
Q4	BSS83P	SOT-23N	BSS83

Q5	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q6	BSS138	SOT-23N	BSS138
Q7	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q8	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q9	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q10	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q11	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q12	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q13	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q14	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q15	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q16	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q17	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q18	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q19	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q20	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q21	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q24	BSS138	SOT-23N	BSS138GEG
Q29	IRLL2703	SOT-223	IRLL2703PBF
Q32	BSS138	SOT-23N	?
Q33	BSS138	SOT-23N	?
R1	RESC	RES2012N(0805)	100k
R2	RESC	RES2012N(0805)	1k5
R3	RESC	RES2012N(0805)	560R
R4	RESC	RES2012N(0805)	6k8
R5	RESC	RES2012N(0805)	100k
R6	RESC	RES2012N(0805)	100k
R7	RESC	RES2012N(0805)	100k
R8	RESC	RES2012N(0805)	100k
R9	RESC	RES2012N(0805)	0R
R10	RESC	RES2012N(0805)	100R
R11	RESC	RES2012N(0805)	100R
R12	RESC	RES2012N(0805)	22R
R13	RESC	RES2012N(0805)	22R
R14	RESC	RES2012N(0805)	22R
R15	RESC	RES2012N(0805)	22R
R16	RESC	RES2012N(0805)	22R
R17	RESC	RES2012N(0805)	22R
R18	RESC	RES2012N(0805)	22R
R19	RESC	RES2012N(0805)	22R
R20	RESC	RES2012N(0805)	22R

R21	RESC	RES2012N(0805)	22R
R22	RESC	RES2012N(0805)	22R
R23	RESC	RES2012N(0805)	22R
R24	RESC	RES2012N(0805)	22R
R25	RESC	RES2012N(0805)	22R
R26	RESC	RES2012N(0805)	22R
R27	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R28	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R29	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R30	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R31	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R32	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R33	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R34	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R35	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R36	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R37	RESC	RES2012N(0805)	560R
R38	RESC	RES2012N(0805)	560R
R39	RESC	RES2012N(0805)	22R
R40	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R41	RESC	RES2012N(0805)	1k8
R42	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R43	RESC	RES2012N(0805)	22R
R44	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R45	RESC	RES2012N(0805)	22R
R46	RESC	RES2012N(0805)	10k
R47	RESC	RES2012N(0805)	10k
R48	RESC	RES2012N(0805)	10k
R49	RESC	RES2012N(0805)	100k
R50	RESC	RES2012N(0805)	100R
R51	RESC	RES2012N(0805)	NC
R52	RESC	RES2012N(0805)	560R
R53	RESC	RES2012N(0805)	560R
R54	RESC	RES2012N(0805)	1k
R55	RESC	RES2012N(0805)	1k
R56	RESP	RES1670-1200X410	0R15
R57	RESP	RES1670-1200X410	0R15
R58	RESC	RES2012N(0805)	150R
R59	RESP	RES1670-1200X410	0R15
R60	RESP	RES1670-1200X410	0R15
R61	RESC	RES2012N(0805)	1M

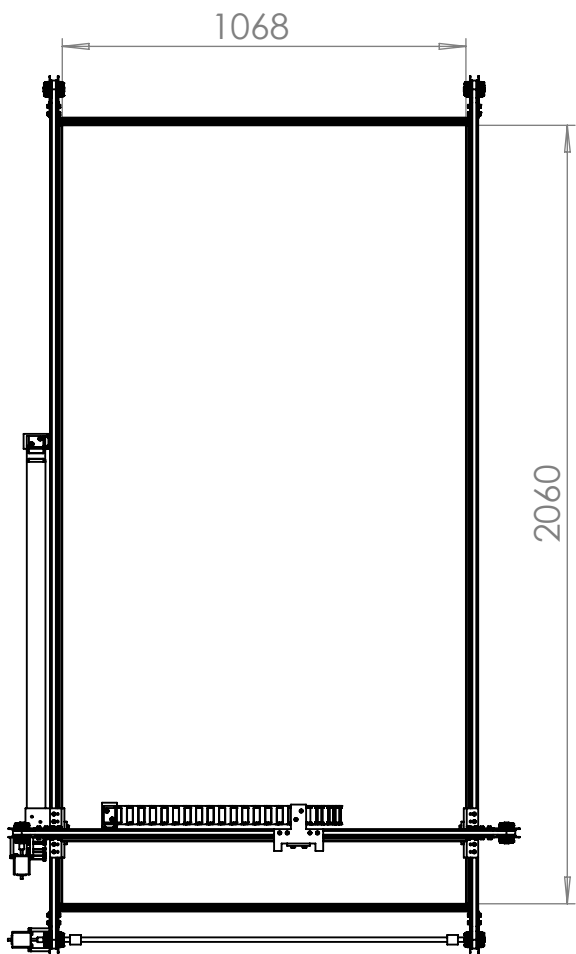
R62	RESP	RES1670-1200X410	0R15
R63	RESP	RES1670-1200X410	0R15
R64	RESC	RES2012N(0805)	10k
R65	RESC	RES2012N(0805)	1k2
R66	RESC	RES2012N(0805)	0R
R67	RESC	RES2012N(0805)	0R
R68	RESC	RES2012N(0805)	10k
R69	RESC	RES2012N(0805)	2R2
R70	RESC	RES3225N(1210)	NC
R71	RESC	RES2012N(0805)	82k
R72	RESC	RES2012N(0805)	1k
R73	RESC	RES2012N(0805)	100R
R74	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R75	RESC	RES2012N(0805)	0R
R76	RESC	RES2012N(0805)	0R
R77	RESC	RES2012N(0805)	10k
R78	RESC	RES2012N(0805)	1k
R79	RESC	RES2012N(0805)	XXX
R80	RESC	RES2012N(0805)	NC
R81	RESC	RES2012N(0805)	NC
R82	RESC	RES2012N(0805)	560R
R83	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R84	RESC	RES2012N(0805)	10k
R85	RESC	RES2012N(0805)	150k
R86	RESC	RES2012N(0805)	12k
R87	RESC	RES2012N(0805)	10k
R88	RESC	RES2012N(0805)	0R
R89	RESC	RES2012N(0805)	0R
R90	RESC	RES2012N(0805)	0R
R91	RESC	RES2012N(0805)	0R
R92	RESC	RES2012N(0805)	0R
R93	RESC	RES2012N(0805)	NC
R94	RESC	RES2012N(0805)	NC
R95	RESC	RES2012N(0805)	560R
R96	RESC	RES2012N(0805)	NC
R97	RESC	RES2012N(0805)	NC
R98	RESC	RES2012N(0805)	0R
R99	RESC	RES2012N(0805)	150R
R100	RESC	RES2012N(0805)	0R
R101	RESC	RES2012N(0805)	0R
R102	RESC	RES2012N(0805)	0R

R103	RESC	RES2012N(0805)	0R
R104	RESC	RES2012N(0805)	150R
R105	RESC	RES2012N(0805)	0R
R106	RESC	RES2012N(0805)	0R
R107	RESC	RES2012N(0805)	0R
R108	RESC	RES2012N(0805)	0R
R109	RESC	RES2012N(0805)	470R
R110	RESC	RES2012N(0805)	100R
R111	RESC	RES2012N(0805)	100R
R112	RESC	RES2012N(0805)	150k
R113	RESC	RES2012N(0805)	100k
R114	RESC	RES2012N(0805)	XXX
R115	RESC	RES2012N(0805)	NC
R116	RESC	RES2012N(0805)	150k
R117	RESC	RES2012N(0805)	100k
R118	RESC	RES2012N(0805)	XXX
R119	RESC	RES2012N(0805)	120R
R120	RESC	RES2012N(0805)	470R
R121	RESC	RES2012N(0805)	NC
R122	RESC	RES2012N(0805)	1k
R123	RESC	RES2012N(0805)	N.C.
R124	RESC	RES2012N(0805)	NC
R125	RESC	RES2012N(0805)	NC
R126	RESC	RES2012N(0805)	N.C.
R127	RESC	RES2012N(0805)	0R
R128	RESC	RES2012N(0805)	NC
R129	RESC	RES2012N(0805)	10k
R130	RESC	RES2012N(0805)	NC
R131	RESC	RES2012N(0805)	560R
R132	RESC	RES2012N(0805)	560R
R133	RESC	RES2012N(0805)	560R
R134	RESC	RES2012N(0805)	560R
R135	RESC	RES2012N(0805)	560R
R141	RESC	RES2012N(0805)	10k
R143	RESC	RES2012N(0805)	10k
R153	RESC	RES2012N(0805)	150k
R154	RESC	RES2012N(0805)	100k
R155	RESC	RES2012N(0805)	10k
R179	RESC	RES2012N(0805)	2k2
R180	RESC	RES2012N(0805)	2k2
R181	RESC	RES2012N(0805)	2k7

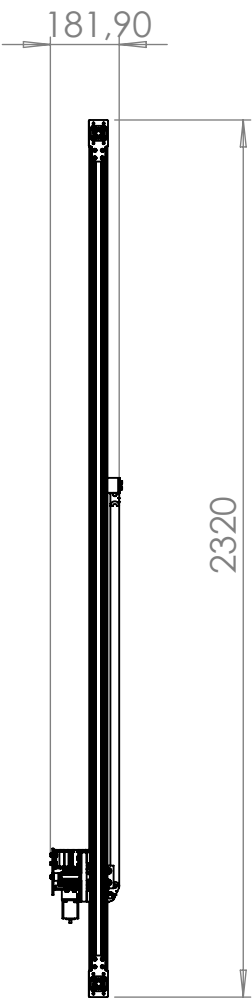
R182	RESC	RES2012N(0805)	82k
R183	RESC	RES2012N(0805)	1k
R184	RESC	RES2012N(0805)	4k7
R189	RESC	RES2012N(0805)	4k7
U1	LM22680	SOIC127P602X147-9N	LM22680MR-ADJ/NOPB
U2	LF33CD	TO-252N	?
U3	KSZ8081MNX	QFN50P500X500X100-33N	
U4	P82B96	SO8N	P82B96TD
U5	TB6560AHQ-TEST	TO127P2070X3600X530-25P	XXX
U6	TB6560AHQ-TEST	TO127P2070X3600X530-25P	XXX
U7	TB6560AHQ-TEST	TO127P2070X3600X530-25P	XXX
U8	74HC04	SO14N	?
U9	FM24C256	SO8N	FM24V10-G
U10	SAM4E16C	QFP50P1600X1600X160-100N	
U11	FT232RQ	QFN50P500X500X100-33N	FT232RQ
U12	AM26LV32E	SO16N	AM26LV32EIPWR
U14	AM26LV32E	SO16N	AM26LV32EIPWR
U15	AM26LV32E	SO16N	AM26LV32EIPWR
U16	SN65HVD3080E	SOPT50X490-10N	SN65HVD3080EDGSG4
U17	LM358	SO8N	LM358DM
U18	ADUM1201	SO8N	ADUM1201ARZ
U19	ADUM1201	SO8N	ADUM1201ARZ
U20	TMV-XXXXXS	AM1D-Z	TMV0505S
Y3	XTAL_FC-135	XTAL_FC-135	32.768kHz
Y4	XTAL_FA-238	XTAL_FA-238	732-322525MF10P-C
Y5	XTAL_FA-238	XTAL_FA-238	FA-238V 12.0000MB-W3

D ROZMĚRY KONSTRUKCE

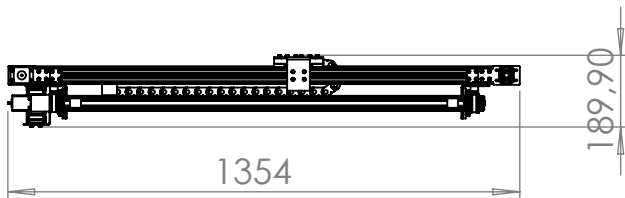
Vnitřní rozměr



Vnější rozměr



Vnější rozměr



Rozměry v mm